Pd 2/733

Образовательная Библіотека
Серія V, № 8

Оливеръ Лоджъ

ЭЛЕКТРОНЫ

Переводъ съ англійскаго
В. М. Филиппова

Уч. Ком. Мин. Нар. Пр. допущено въ ученическія библіотеки среднихъ учебныхъ заведеній Министерства.

Издательство
О. Н. Поповой

С.-Петербургъ
Невскій пр., 54

Образовательная Библіотека.

Изданіе выходитъ серіями, заключающими каждая 10 книжекъ отъ 7 до 12 печатныхъ листовъ убористой печати.

Задача „Образовательной библіотеки" — дать рядъ общедоступно составленныхъ книгъ по всѣмъ отраслямъ научнаго знанія. Редакція будетъ стремиться къ тому, чтобы въ выпускаемыхъ ею книгахъ научность содержанія сочеталась съ живымъ и легкимъ изложеніемъ. Изъ послѣдовательнаго ряда сочиненій получится систематическое въ извѣстной степени цѣлое, но эта систематичность цѣлаго отнюдь не будетъ чисто внѣшнею и не помѣшаетъ читателю свободно выбирать то, что въ данный моментъ всего болѣе соотвѣтствуетъ его интересамъ.

СОДЕРЖАНІЕ.

СЕРІЯ ПЕРВАЯ

№ 1 и 2. **З. Клоддъ.** *Картина міра. Дѣтство человѣчества. Піонеры эволюціи XIX в.* Съ 93 рис. Ц. 1 р.

№ 3. **Д. Чемберсъ.** *Повѣсть о звѣздахъ.* 20 рис. и 2 карт. звѣзднаго неба. Изд. 2-е. Ц. 40 к.

Учен. Ком. М. Нар. Пр. **рекомендована** для учен. библ. (стар. и средн. возр.) средн. учебн. завед., мужск. и женск., и для безпл. народн. библіот. и читаленъ.

№ 4 и 5. **Н. Карышевъ.** *Трудъ, его роль и условія приложенія въ производствѣ.* Ц. 1 р. 20 к.

№ 6 и 7. **А. Лампа.** *Силы природы и естественные законы.* Съ портретами знаменит. физиковъ. Двѣ части, по 50 к. за часть.

Учен. К. М. Н. Пр. признана заслуживающей **особой рекомендаціи** для фундам. и ученич., старш. возр., библ. мужск. гимназій и реальн. училищъ, для фундам. библ. женск. гимн. и учит. инст. и семин., а также для безпл. народн. библіот. и читаленъ.

№ 8 и 9. **Сѣченовъ, И.** *Физіологическіе очерки.* Съ 116 рис. За 2 части 1 р. 50 к.

№ 10. **Кроненбергъ.** *Философія Канта и ея значеніе въ исторіи развитія мысли.* Съ портретомъ Канта. Ц. 40 к.

СЕРІЯ ВТОРАЯ.

№ 1. **Чемберсъ.** *Солнечная система.* Пер. съ англ. Щиглевой, подъ ред. Н. Березина. 78 рис. Ц. 40 к.

№ 2. **Парвусъ.** *Міровой рынокъ и сельско-хозяйственный кризисъ.* Эконом. очерки. Пер. съ нѣм. Л. Я. Ц. 40 к.

№ 3 и 4. **Ланглуа и Сеньобосъ.** *Введеніе въ изученіе исторіи.* Пер. съ франц. А. Серебряковой. Ц. 1 р.

Уч. Ком. М. Н. Пр. **одобрена** для фунд. библ. ср. уч. зав. и учит. инст.

№ 5. **В. Болинъ,** проф. Гельсингф. унив. **Спиноза.** Біографич. и культурно-историч. очеркъ. Пер. съ нѣм. З. Н. Журавской и Д. В. Страндена. Подъ ред. П. Струве. Ц. 60 к.

№ 6. **Г. Гиггсъ.** *Физіократы.* Франц. экономисты XVIII в. Пер. съ англ. О. Ю. Гофманъ подъ ред. П. Струве. Ц. 40 к.

5 733

Образовательная Библіотека

Серія V, № 8

Рз 2/733

Оливеръ Лоджъ

ЭЛЕКТРОНЫ

Переводъ съ англійскаго

В. М. Филиппова

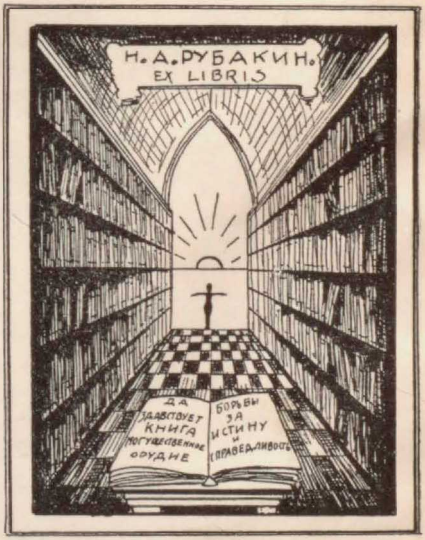
КНИЖНЫЙ МАГАЗИНЪ
ИВ. ИВ. МИТЮРНИКОВА
Литейный просп., № 31.
С.-Петербургъ.

Издательство
О. Н. Поповой

С.-Петербургъ
Невскій пр., 54

Государственная ордена Ленина
БИБЛИОТЕКА СССР
им. В. И. ЛЕНИНА
19870-48

Дозволено цензурою. С.-Петербургъ, 4 марта 1904 года.



Типографія Артели Печатнаго Дѣла. Невскій, 61.

2011111220

Отъ переводчика

Настоящая книга представляетъ собою переводъ мемуара сэра Оливера Лоджа, прочитаннаго имъ въ ноябрѣ 1902 года въ Обществѣ Инженеровъ-Электриковъ (The Institution of Electrical Engineers).

Русская литература далеко не богата сочиненіями, содержащими въ себѣ болѣе или менѣе подробное изложеніе современныхъ взглядовъ на электричество и матерію. Кромѣ прекрасныхъ обстоятельныхъ статей проф. И. И. Боргмана «Основы электронной теоріи» («Міръ Божій», августъ 1903) и «Новые лучи и радіоактивность» («Вѣстникъ и Библіотека Самообразованія», 1903, №№ 20 и 21), этому предмету посвящались до сихъ поръ, если не ошибаюсь, лишь краткія журнальныя замѣтки, дающія читателю только самое элементарное представленіе о воззрѣніяхъ, совершившихъ крупный переворотъ въ ученіи объ электричествѣ. Врядъ ли поэтому будетъ несвоевременнымъ выходъ въ свѣтъ настоящей книги, излагающей электронную теорію и дающей описаніе важнѣйшихъ, подтверждающихъ ее, опытовъ.

Заранѣе извиняюсь передъ читателями за нѣкоторую шероховатость слога, неизбѣжную при желаніи быть возможно ближе къ подлиннику. Считаю своимъ пріятнымъ долгомъ выразить глубокую благодарность моимъ товарищамъ В. Ѳ. Миткевичу, давшему мнѣ много весьма цѣнныхъ для перевода указаній, и А. А. Шапошникову, оказавшему существенную помощь при чтеніи корректурныхъ листовъ.

В. Ф.

СПБ. Сосновка.
Январь 1904 г.

ВВЕДЕНІЕ

Въ 57-омъ параграфѣ трактата Максвелля объ электричествѣ, напечатаннаго въ 1873 году, находятся слѣдующія слова, высказанныя имъ по поводу разряда электричества черезъ газы, главнымъ образомъ черезъ газы разрѣженные:

«Какъ эти, такъ и многія другія явленія электрическаго разряда чрезвычайно важны, а когда они станутъ болѣе понятными, то прольютъ, вѣроятно, много свѣта на природу электричества, а также на природу газовъ и среды, заполняющей пространство».

Предсказаніе это въ широкихъ предѣлахъ оправдалось прогрессомъ науки, и уже нѣтъ болѣе сомнѣнія въ томъ, что дальнѣйшіе ея шаги впередъ будутъ именно въ этомъ направленіи. Изученіе проводимости, во первыхъ, черезъ жидкости, а затѣмъ и черезъ газы, въ связи съ ученіемъ о процессахъ, имѣющихъ мѣсто въ радіаціи, значительно расширило въ послѣдніе годы наше знаніе и открыло новую главу, даже цѣлый новый томъ физики.

Значительно выиграла она, когда стали обращать вниманіе на явленія электрическаго заряда и ставить очень высоко необходимость изученія электростатики. Напрасно Фитцджеральдъ говорилъ не такъ давно о ней, какъ объ «одномъ изъ самыхъ красивыхъ и безполезныхъ приспособленій природы»; такъ случается со всѣми, кто,—придерживаясь мнѣнія, что въ преподаваніи необходимо заниматься исключительно тѣмъ, что полезно практически,—не тратитъ со своими студентами времени

на декоративныя излишества, а начинаетъ изученіе электричества съ явленій тока и, главнымъ образомъ, съ соотношеній между электричествомъ и магнитизмомъ, почти игнорируя или, по крайней мѣрѣ, быстро пробѣгая отдѣлъ электростатики.

Какъ со многихъ другихъ точекъ зрѣнія, такъ и съ чисто практической, эта часть науки объ электричествѣ очень важна; а кому хотѣлось бы заниматься не только разсчетами динамо и машиностроеніемъ въ широкомъ масштабѣ, кто съ изобрѣтательностью и способностями инженера соединяетъ въ себѣ кой-какіе интересы, инстинктъ и любознательность человѣка науки, для того самая уже природа и свойства электрическаго заряда, находящагося въ покоѣ и движеніи, составляютъ чарующій предметъ изученія. Тутъ лежитъ ключъ къ сокровенному значенію всего того, съ чѣмъ такъ тѣсно соприкасается его дѣятельность; тутъ кроется непосредственное разрѣшеніе проблемъ, которыя давно уже привлекали къ себѣ вниманіе философовъ, физиковъ и химиковъ и заявляли свои претензіи на ихъ изобрѣтательность и остроуміе. А это началось съ тѣхъ поръ, когда люди стали избѣгать борьбы за одно только существованіе, какъ таковое, за эту наиболѣе практическую непосредственно цѣль жизни, и начали свободно посвящать себя либо искусству или литературѣ, либо собиранію излишнихъ богатствъ или преслѣдованію безкорыстныхъ цѣлей размышленія и чистой теоріи.

Вашъ президентъ, г. Свинбёрнъ, полагая, что общество, подобное настоящему, состоитъ изъ людей, привыкшихъ заходить, быть можетъ, въ нѣсколько сложную, далеко отстоящую отъ чисто-практическихъ занятій, глубь занимающаго ихъ предмета, сдѣлалъ мнѣ письменное предложеніе представить здѣсь объяснительный очеркъ данныхъ, добытыхъ въ послѣднее время въ мірѣ чистой науки для истолкованія весьма странныхъ электрическихъ процессовъ. Съ нѣкоторымъ, хотя и небольшимъ, колебаніемъ согласился я на это; я былъ увѣренъ, что то, о чемъ просилъ меня г. президентъ, никто изъ всего Института не счелъ бы неумѣстнымъ и ненужнымъ, и всетаки по собственному своему побужденію я бы никогда не рѣшился предложить настоящую статью вашему вниманію.

Часть I

Прежде всего мнѣ надо заложить фундаментъ чистой теоріи; мы должны разсмотрѣть свойства стараго и давно извѣстнаго явленія, называемаго наэлектризованнымъ тѣломъ.

Два вещества, находящіяся одно съ другимъ въ соприкосновеніи или отдѣленныя другъ отъ друга, вообще говоря, болѣе или менѣе постоянно связаны между собою посредствомъ силовыхъ линій, причемъ заключающаяся между ними часть пространства находится въ состояніи напряженія вдоль этихъ линій или давленія, къ нимъ перпендикулярнаго. Силовыя линіи имѣютъ направленіе: начинаясь на одномъ тѣлѣ и заканчиваясь на другомъ, онѣ создаютъ электрическое поле, а концы ихъ на томъ или другомъ тѣлѣ образуютъ то, что мы называемъ электрическимъ зарядомъ. Электрическіе заряды бываютъ двухъ родовъ: одни изъ нихъ соотвѣтствуютъ началу силовыхъ линій, другіе — концу ихъ. Къ однимъ тѣламъ, называемымъ изоляторами, силовыя линіи относятся, повидимому, безразлично; въ то же время онѣ безпрепятственно скользятъ вдоль тѣлъ, относящихся къ другому классу, и съ большой легкостью переходятъ съ одного такого проводящаго тѣла на другое, находящееся съ нимъ въ соприкосновеніи.

Имѣющееся въ силовыхъ линіяхъ натяженіе выражается въ стремленіи концовъ ихъ возможно больше сблизиться между собою, отъ чего и происходитъ то, что наблюдается въ видѣ электрическихъ притяженій и отталкиваній.

Въ пустомъ пространствѣ можно найти, вѣроятно, только одно средство уничтожить подобное силовое поле: для этого надо сближать два тѣла другъ съ другомъ и укорачивать такимъ образомъ линіи почти до нуля. Впрочемъ, даже и въ

этомъ случаѣ невозможно допустить, чтобы заряды уничтожались; они только сближаются такъ тѣсно, что на нѣкоторомъ умѣренномъ разстояніи не обнаруживаютъ никакого внѣшняго эффекта. Въ присутствіи же матеріи, которая можетъ такъ или иначе способствовать укорачиванію силовыхъ линій, происходятъ самыя разнообразныя явленія проводимости и прерывистаго разряда.

Если одно изъ противоположно-заряженныхъ тѣлъ отвести на значительное разстояніе и разсматривать только другое, вполнѣ изолированное, то отъ этого послѣдняго будутъ распространяться по всѣмъ направленіямъ приблизительно прямыя силовыя линіи. Такимъ образомъ получается простое представленіе объ одномъ заряженномъ тѣлѣ, которое на самомъ дѣлѣ возможно не въ большей степени, чѣмъ существованіе одного магнитнаго полюса. Гдѣ нибудь должны быть и другіе концы этихъ линій, хотя они могутъ находиться такъ далеко, что на практикѣ о нихъ можно говорить, какъ о находящихся на безконечно-большомъ разстояніи.

Разсмотримъ теперь, насколько принадлежитъ это силовое поле тѣлу, и насколько оно принадлежитъ пространству, т. е. окружающему тѣло эфиру. Тѣло образуетъ ядро, изъ котораго силовыя линіи исходятъ въ видѣ лучей; сами же эти линіи, равно какъ и представляемое ими состояніе натяженія и другія свойства, отнюдь не составляютъ принадлежности тѣла; въ каждой точкѣ пространства имѣется электрическій потенціалъ, который представляетъ собою нѣчто, находящееся въ эфирѣ, и только въ немъ.

Заряженная сфера

Представимъ себѣ мысленно такое заряженное тѣло, напримѣръ, заряженную сферу, и заставимъ его мѣнять свое положеніе,—какъ будемъ мы разсматривать вліяніе этого перемѣщенія на силовое поле тѣла? Физикѣ прекрасно извѣстно, что, при движеніи тѣла, находящійся вблизи него эфиръ не приходитъ въ движеніе. Эфиръ дѣйствительно пребываетъ въ стаціонарномъ состояніи; онъ подвергается нѣкоторой дефор-

маціи, но не участвуетъ въ движеніи; онъ служитъ вмѣстилищемъ для потенціальной энергіи, но не вмѣщаетъ въ себѣ энергіи движенія.

Вліяніе движенія тѣла сказывается такимъ образомъ въ ослабленіи натяженія эфира въ одномъ мѣстѣ и образованіи его въ другомъ. Состояніе натяженія передвигается *вмѣстѣ* съ тѣломъ, но *черезъ* эфиръ.

Разсматривая этотъ процессъ съ точки зрѣнія эфира, мы скажемъ, что, по мѣрѣ движенія тѣла, силовое поле постоянно исчезаетъ и создается вновь; придерживаясь же точки зрѣнія движущагося тѣла, мы должны будемъ сказать, что оно увлекаетъ за собою свое поле.

Теперь возникаетъ далеко не легкій вопросъ о томъ, что же такое происходитъ въ эфирѣ, если въ немъ имѣютъ мѣсто подобное исчезновеніе и новое образованіе электростатическаго поля, или если черезъ него движется силовое поле? Моментально ли приспособляется онъ къ новымъ условіямъ, или для того требуется нѣкоторое время? Предметъ этотъ чрезвычайно подробно былъ изученъ Оливеромъ Хевизайдомъ.

Помѣстимъ свой глазъ въ нѣкоторой точкѣ, находящейся въ одной милѣ разстоянія отъ тѣла. Получатся ли въ этой точкѣ какія либо моментальныя указанія на движеніе тѣла, такъ чтобы всѣ силовыя линіи двигались одновременно, какъ бы по безусловно правильнымъ ступенямъ лѣстницы? А если это такъ, то какимъ образомъ моментально передается движеніе на удаленныя части среды? Или же пертурбація дойдетъ до далеко-отстоящей отъ тѣла точки лишь по истеченіи нѣкотораго замѣтнаго, хотя и небольшого, промежутка времени? Другими словами, не отзовутся ли сперва новыя условія въ ближайшихъ къ тѣлу частяхъ среды и лишь затѣмъ въ послѣдующихъ? А если это такъ, то не будутъ ли наблюдаться какія либо добавочныя явленія во время этого промежуточнаго періода?

Въ отвѣтъ на это замѣтимъ, что во время движенія заряженнаго тѣла и даже по прекращеніи его движенія, до тѣхъ поръ, пока деформація не исчезнетъ окончательно, и все снова не придетъ въ статическое состояніе, обнаруживаются явленія *магнитизма*, и временно существуетъ новый родъ

силовыхъ линій, совершенно отличныхъ отъ линій электростатическихъ (хоть и онѣ выказываютъ также натяженіе вдоль своего направленія и давленіе въ направленіи, къ нимъ перпендикулярномъ). Въ нихъ нѣтъ того, чтобы онѣ начинались въ одномъ мѣстѣ и оканчивались въ другомъ: онѣ всегда представляютъ собою непремѣнно замкнутыя кривыя, а въ настоящемъ простомъ случаѣ образуютъ круги, всѣ центры которыхъ лежатъ на пути, проходимомъ движущимся заряженнымъ тѣломъ. Въ нѣкоторой точкѣ пространства мы можемъ разсматривать теперь три направленія: 1) первоначальное направленіе электростатическаго поля,—первоначальную электрическую силовую линію; 2) направленіе движенія,—то есть направленіе, параллельное пути, по которому движется заряженное тѣло, и 3) направленіе, перпендикулярное къ двумъ первымъ; это послѣднее и будетъ направленіемъ магнитныхъ силовыхъ линій,—направленіемъ магнитнаго поля.

Я говорилъ о магнитномъ полѣ, какъ о временномъ, что справедливо лишь тогда, если заряженное тѣло только перемѣщается, т. е. если оно мѣняетъ одно свое положеніе на другое; если же движеніе продолжается безпрерывно, то во все это время сохраняются и магнитныя линіи. Сила ихъ въ нѣкоторой точкѣ r, Θ будетъ

$$H = \frac{e\,u}{r^2} \cdot \sin\Theta$$

Если насъ спросятъ, слабо ли такое магнитное поле или нѣтъ, я отвѣчу, что это зависитъ исключительно отъ того, какъ великъ зарядъ, и какова скорость его движенія. Другой родъ магнитнаго поля по моему невозможенъ. Если мы находимся въ магнитномъ полѣ, которое, по нашему мнѣнію, можно съ полнымъ правомъ разсматривать, какъ «сильное», то мы должны придти къ заключенію, что это связано съ существованіемъ весьма значительнаго заряда, движущагося со скоростью, которую также можно назвать очень большою. Но вѣрно, конечно, и то, что для нѣкоторой обыкновенной заряженной сферы, движущейся съ обыкновенною скоростью, магнитное поле, опоясывающее концентрическими кругами траекторію нашей сферы, крайне слабо, даже при томъ условіи,

если движущуюся сферу представляетъ собою выпущенное изъ пушечнаго жерла ядро. Слабо ли оно или нѣтъ, но оно несомнѣнно существуетъ, и его существованію мы обязаны всѣми магнитными явленіями электрическаго тока.

Если электростатическое поле есть то, что распространяется отъ одного заряженнаго тѣла къ другому, то электрическій токъ не что иное, какъ движеніе такого заряженнаго тѣла, а магнитное поле состоитъ изъ того, что окружаетъ собою путь, по которому движется зарядъ.

Перемѣщеніе электрическаго заряда *и есть* электрическій токъ, а что касается окружающихъ его магнитныхъ явленій, то на нихъ и надо смотрѣть, только какъ на существующія магнитныя явленія. Если же возможно другое видоизмѣненіе, то утверждающіе такъ пусть и докажутъ это.

Установимъ еще разъ слѣдующее:

Пока зарядъ неподвиженъ, все остается неизмѣннымъ, и мы имѣемъ только электрическое поле.

Во все время движенія заряда съ постоянной скоростью токъ не мѣняется, а у насъ имѣется постоянное магнитное поле, накладывающееся на безпрерывно-движущееся поле электрическое; имѣется у насъ и нѣкоторая передача энергіи въ направленіи движенія.

Но что же имѣетъ мѣсто въ моменты начала и прекращенія движенія? Что происходитъ, когда зарядъ началъ двигаться, но еще не достигъ постоянной скорости, или, напротивъ того, когда скорость стала уменьшаться, прежде чѣмъ тѣлу окончательно остановиться? Что является результатомъ измѣненія направленія движенія? Какія явленія можно замѣтить при увеличеніи или уменьшеніи скорости, при искривленіи пути? Въ этихъ случаяхъ наблюдается нѣчто большее простой электростатики и простого магнитизма.

Мы приходимъ къ явленію индукціи, — къ образованію электродвижущей силы индукціи, величина которой въ какой либо точкѣ равна скорости измѣненія въ ней магнитныхъ силовыхъ линій. Если въ такой точкѣ нѣтъ проводника, то эта электродвижущая сила не вызоветъ и тока; тогда она представитъ собою нѣкоторую, исходящую отъ заряда, электрическую силу въ томъ мѣстѣ, гдѣ ея раньше не было, и притомъ въ

новомъ направленіи, перпендикулярномъ къ тому, въ которомъ движутся наростающія магнитныя линіи. Слѣдовательно, новая или индуктированная электродвижущая сила распространяется въ направленіи движенія, хотя, впрочемъ, имѣетъ знакъ, обратный знаку того или другого измѣненія этого движенія. Накладываясь же на магнитное поле, она въ общемъ результатѣ приводитъ къ незначительной передачѣ энергіи въ радіальномъ направленіи отъ получающаго ускореніе заряда. Поэтому отъ нея исходитъ со скоростью свѣта нѣкоторая энергія, которая, впрочемъ, въ обыкновенныхъ случаяхъ имѣетъ ничтожно-малую величину.

Слѣдовательно, къ явленію, называемому радіаціей, мы приходимъ отъ электрическаго заряда въ то время, когда онъ получаетъ ускореніе, или когда его скорость уменьшается; одно только это явленіе и возбуждаетъ эфирныя волны, давая намъ различныя видоизмѣненія *свѣта*.

Энергія, излучаемая въ секунду, равна $\frac{2\mu e^2 w^2}{3v}$, гдѣ v есть скорость свѣта, а w—ускореніе заряда e.

Такимъ образомъ, или, вѣрнѣе, съ помощью широкаго развитія этихъ основныхъ идей, трактуются и, такъ сказать, объясняются всѣ электрическія и оптическія явленія.

Электрическая инерція

Каковъ бы ни былъ зарядъ, и каково бы ни было гидродинамическое строеніе эфира, нужно придерживаться линій какъ электрическихъ, такъ и магнитныхъ, и, гдѣ бы ни были оба рода этихъ линій, имѣется возможность передавать энергію, пересѣкая ихъ подъ прямыми углами.

Получающій ускореніе зарядъ эквивалентенъ измѣненію тока, и вмѣсто $\frac{dC}{dt}$ можно писать $\frac{d^2Q}{dt^2}$. Какъ бы ни измѣнялся токъ, мы имѣемъ электродвижущую силу самоиндукціи, равную величинѣ $L\frac{dC}{dt}$.

Если разсматривать это выраженіе съ точки зрѣнія тока, создаваемаго движущимся зарядомъ, то оно соотвѣтствуетъ полному ускоренію.

Электрическому ускоренію противостоитъ электродвижущая сила точно также, какъ противостоитъ механическая инерція ускоренію матеріи. Коэффиціентъ электрическаго ускоренія представляетъ собою поэтому нѣчто вродѣ инерціи, почему и называется электрической инерціей.

По правилу Ленца, дѣйствіе индукціи всегда бываетъ противоположно производящей ее причинѣ. Въ настоящемъ случаѣ причиною служитъ ускореніе или замедленіе движущагося заряда; обыкновенно же ей противопоставляется реакція создаваемыхъ ею магнитныхъ линій.

Движеніе встрѣчаетъ нѣкоторое препятствіе, пока его скорость возрастаетъ; уменьшеніе же ея нисколько не мѣшаетъ движенію. Явленіе это вполнѣ аналогично обыкновенной механической инерціи. Поэтому, чтобы начать или прекратить движеніе заряженнаго тѣла, необходима сила, и нужно затратить нѣкоторую работу. Благодаря заряду тѣла нужна экстрасила. Какой бы инерціей ни обладало тѣло, разсматриваемое, какъ нѣкоторая часть вещества, ея у него становится больше на ничтожное количество, если оно заряжено.

Величина электрической инерціи для случая заряженной сферы радіуса a выражается числомъ:

$$\frac{2\mu e^2}{3a}$$ (см. приложеніе A).

Такъ какъ все это очень важно, то я повторю еще разъ: Если, съ одной стороны, мѣняющееся магнитное поле производитъ впечатлѣніе электростатическаго заряда, т. е., другими словами, создаетъ слабое поле электрической силы, въ выраженіе интенсивности котораго входитъ въ знаменателѣ возведенная въ квадратъ скорость свѣта, то, съ другой стороны, и съ измѣненіемъ электрическаго поля образуется поле магнитное, пропорціональное скорости измѣненія перваго. Если оно получаетъ ускореніе, то магнитное поле измѣняется, и въ этомъ случаѣ возникаетъ нѣкоторая электродвижущая сила, оказывающая реакцію на движущійся съ ускореніемъ зарядъ,—притомъ всегда такую, которая противоположна самому движенію. Происходитъ это въ силу такъ называемаго правила Ленца или же просто въ силу закона сохраненія энергіи. При вся-

комъ движеніи дѣйствіе и противодѣйствіе идутъ бокъ-о-бокъ, взаимно усиливая другъ друга, до тѣхъ поръ, пока скорость не достигнетъ нѣкоторой опредѣленной величины.

Магнитныя линіи, создаваемыя устанавливающимся токомъ, т. е. заряженнымъ тѣломъ, обладающимъ положительнымъ ускореніемъ, дѣйствуютъ на производящее ихъ движеніе въ обратную сторону, т. е. такимъ образомъ, что препятствуютъ его распространенію. Встрѣчаемое движеніемъ препятствіе чрезвычайно активно, а не обладаетъ той массивностью и инертностью, которыя свойственны тренію. Реакція прекращается тотчасъ же по установленіи движенія: она поэтому аналогична не тренію, а инерціи, и представляетъ собою нѣкоторый коэффиціентъ одного порядка съ ускореніемъ.

Магнитныя линіи, создаваемыя прекращающимся токомъ, т. е. заряженнымъ тѣломъ, обладающимъ отрицательнымъ ускореніемъ или замедленіемъ, дѣйствуютъ какъ разъ наоборотъ, т. е. способствуютъ продолженію движенія: здѣсь мы имѣемъ дѣло съ чѣмъ-то, соотвѣтствующимъ инерціи. Можно сказать, что во время своего движенія заряженное тѣло имѣетъ моментъ, обусловливаемый его зарядомъ. Величина этого момента пропорціональна скорости, пока послѣдняя не чрезмѣрно велика, а, слѣдовательно, инерцію, при тѣхъ же самыхъ ограниченіяхъ, можно считать постоянной и отъ скорости независящей. Поэтому надо признать ея существованіе даже и въ томъ случаѣ, если зарядъ находится въ стаціонарномъ состояніи, изъ чего можно заключить о совершенномъ ея сходствѣ съ обычной механической инерціей, которая присуща любому количеству обыкновенной матеріи.

Въ приложеніи мы дадимъ простѣйшій видъ количественнаго выраженія только что указанныхъ соотношеній и вычислимъ обусловливаемую электрическимъ зарядомъ инерцію. Нужно понимать, что, какова бы ни была инерція у матеріальной сферы, разсматриваемой, какъ матерія, ея у нея еще больше, если она заряжена электричествомъ, будетъ ли зарядъ положителенъ или отрицателенъ. Добавочная величина электрической инерціи пропорціональна электростатической энергіи заряда, т. е., другими словами, она пропорціональна не только заряду, но и его потенціалу. Если зарядъ обозначить буквою

e, а радіусъ сферы выразить черезъ a, то потенціалъ будетъ $\frac{e}{ka}$, а соотвѣтственная инерція представится числомъ

$$m = \frac{2}{3v^2} \cdot e \cdot \frac{e}{ka}$$

гдѣ v есть скорость свѣта.

Чтобы составить себѣ объ этой величинѣ нѣсколько иное представленіе, можно сказать, что еслибы такая масса двигалась со скоростью свѣта, то ея кинетическая энергія была бы въ полтора раза больше той потенціальной энергіи, которою обладалъ бы электрическій зарядъ, находясь въ состояніи покоя, такъ какъ

$$\frac{3}{4} mv^2 = \frac{1}{2} e \cdot \frac{e}{ka} = \frac{1}{2} QV = \text{потенціальной энергіи.}$$

Едва замѣтное количество вещества, хотя бы, напримѣръ, одинъ миллиграммъ, двигаясь со скоростью свѣта, обладаетъ колоссальной энергіей. Такъ, при массѣ въ одинъ миллиграммъ она доходитъ до пятнадцати милліоновъ футо-тоннъ. По словамъ Вильяма Крукса, одинъ граммъ или пятнадцать грановъ вещества, двигаясь со скоростью свѣта, развиваютъ такое количество энергіи, котораго было бы достаточно для того, чтобы поднять весь англійскій флотъ на вершину Бенъ-Невиса *).

Слѣдовательно, инерція обыкновеннаго количества электрическаго заряда должна быть крайне ничтожной. Несмотря на это, весьма сомнительно существованіе другого рода инерціи. Вопросъ о томъ, есть ли таковой или нѣтъ, въ настоящее время остается открытымъ, хотя мнѣ онъ и представляется практически разрѣшеннымъ.

Чтобы данный электрическій зарядъ имѣлъ болѣе или менѣе замѣтную массу, ему надо сообщить чрезвычайно высокій потенціалъ, т. е. его нужно сконцентрировать на очень небольшой сферѣ.

---

*) Находящаяся въ Шотландіи гора Бенъ-Невисъ поднимается надъ уровнемъ моря на высоту 1.543 метровъ.

Прим. пер.

Электростатическая энергія одного кулона, при потенціалѣ въ одинъ вольтъ, равна половинѣ джоуля, или $^1/_2 \times 10^7$ эрговъ.

Эквивалентная даже этому количеству энергіи масса должна была бы быть равною

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{10^7}{9 \times 10^{20}} = \frac{2}{27} \cdot 10^{-13} \text{ грамм.} = 10^{-8} \text{ миллигр.}$$

Если же поднять потенціалъ до милліона вольтъ, то масса-эквивалентная взятому при такомъ потенціалѣ одному кулону, составила бы всего лишь сотую долю миллиграмма, т. е. была бы едва замѣтна.

Извѣстно, что зарядъ одного атома, наблюдаемаго при электролизѣ, представляетъ собою 10^{-10} электростатическихъ единицъ. Еслибы онъ былъ распредѣленъ по сферѣ, величиною съ атомъ, т. е. имѣющей радіусъ въ 10^{-8} сантиметровъ, то получившійся при этомъ потенціалъ составилъ бы одну сотую электростатической единицы, или былъ бы около 3 вольтъ. Энергія этого заряда равнялась бы 10^{-12} эргамъ, а инерція тѣла, обладающаго такой энергіей и движущагося со скоростью свѣта, была бы равною 10^{-33} граммамъ.

Эта же величина несравненно меньше массы атома водорода, равной приблизительно 10^{-25} граммамъ. Слѣдовательно, равномѣрно распредѣленный по атому іонный зарядъ не прибавилъ бы къ его массѣ ничего.

Еслибы поэтому атомный зарядъ сконцентрировать на сферѣ радіуса въ 10^{-13} сантиметровъ, то потенціалъ достигъ бы величины въ 1.000 электростатическихъ единицъ, или 300.000 вольтъ, энергія равнялась бы 10^{-7} эргамъ, а инерція не превысила бы 10^{-28} граммовъ или 0,001 массы одного атома водорода.

Всѣ эти предварительныя замѣчанія представляютъ собою неопровержимые факты, т. е. такіе, которые являются слѣдствіемъ прочно установленной теоріи электричества, независимо отъ того, можно ли будетъ, когда угодно, обнаружить существованіе электроновъ, или нѣтъ.

Все, высказанное нами, справедливо по отношенію къ обыкновенному заряду, расположенному на нѣкоторой обыкновен-

ной сферѣ, которую можно привести въ движеніе съ помощью нѣкоторой приложенной къ ней силы.

Она даетъ намъ явленія:

электростатическія, когда находится въ покоѣ,
магнитныя, когда движется, и
лучистыя, при усиленіи и ослабленіи этого движенія.

Случайно, въ силу извѣстныхъ законовъ электромагнитной индукціи, зарядъ обнаруживаетъ нѣчто вродѣ инерціи, симулируя такимъ образомъ одно изъ самыхъ основныхъ свойствъ матеріи.

Къ этому я добавлю нѣчто, находящееся въ еще болѣе тѣсной связи между собою. Если къ заряженной сферѣ приложить достаточно значительную электродвижущую силу, то зарядъ можетъ отъ нея оттолкнуться.

Если на пути быстро движущейся заряженной сферы поставить такое препятствіе, которое было бы въ состояніи *достаточно* внезапно механически остановить ее, то, со своей стороны, зарядъ или нѣчто, подобное ему, можетъ проникнуть сквозь встрѣченное препятствіе и продолжать свой путь. Но для достиженія этого необходимо, чтобы развиваемая сферою скорость, равно какъ и внезапность появленія препятствія, были чрезвычайно велики. Обыкновенно при быстрой остановкѣ заряда онъ приходитъ лишь въ колебаніе и испускаетъ одну только волну или сферическій слой въ діаметръ сферы толщиною; а если сфера во время уменьшенія скорости все же двигалась, то толщина означеннаго слоя становится даже больше этого діаметра. Впрочемъ, если величина ускоренія не очень велика, то радіація становится менѣе энергичною и густою: менѣе энергичною, потому что эта ея способность зависитъ отъ квадрата ускоренія, а менѣе густою, потому что она распространяется на эфирный слой, обладающій большею толщиною. Рентгеновскіе лучи становятся ощутимыми лишь въ томъ случаѣ, если уменьшеніе громадной ихъ скорости наступаетъ такъ внезапно, что получающаяся волна или пульсирующій слой становятся очень сильными и тонкими.

Ученіе о томъ, что происходитъ съ движущейся заряженной сферой, равно какъ и вычисленіе величины своего рода

инерціи электрическаго заряда начаты были профессоромъ Дж. Дж. Томсономъ, напечатавшимъ въ апрѣлѣ 1881 года статью, которая, являясь однимъ изъ самыхъ замѣчательныхъ трактатовъ по физикѣ нашего времени, открываетъ собою цѣлую новую эпоху.

Его побудили къ этому изслѣдованію тѣ блестящіе, опубликованные въ 1879 году, опыты Крукса, которые, слѣдуя за наблюденіями Плюккера и Гитторфа, предшествовали работамъ Гольдштейна и Пулуя, производившимся въ 1880 году.

Въ 1891 году вашимъ президентомъ былъ сэръ Вильямъ Круксъ. Въ своей вступительной рѣчи онъ говорилъ кое-что объ этихъ блестящихъ опытныхъ изслѣдованіяхъ, въ которыхъ ему помогали Шустеръ и многіе другіе. Врядъ ли мы ошибемся, если скажемъ, что до Крукса явленія въ разрѣженной трубкѣ скрывались въ темнотѣ, хотя и составляли предметъ многихъ старательныхъ и добросовѣстныхъ работъ какъ въ нашей странѣ, такъ и на материкѣ, и что только со времени Круксовыхъ изслѣдованій семидесятыхъ годовъ теоретическое объясненіе разрѣженныхъ трубокъ постепенно шло впередъ, пока не пролило наконецъ, теперь, какъ это предсказывалъ Максвелль, свѣта на цѣлую область науки объ электричествѣ и даже на строеніе матеріи.

Приложенія къ части I

А.—Вычисленіе инерціи электрическаго заряда

Заставимъ сферическій проводникъ съ радіусомъ a, несущій на себѣ электрическій зарядъ e, двигаться впередъ не съ очень большой скоростью u, предполагая послѣднюю значительно меньшею скорости свѣта. Этотъ движущійся зарядъ образуетъ элементъ тока величиною eu; цѣпь этого тока замыкается токами смѣщенія въ окружающемъ діэлектрикѣ. Такъ какъ силовыя линіи въ средѣ впереди появляются, а сзади ис-

чезаютъ, то перемѣщеніе электричества спереди назадъ компенсируетъ движеніе впередъ, и такимъ образомъ линіи токовъ смѣщенія становятся тожественными съ магнитными линіями, создаваемыми короткимъ магнитомъ. Можно сказать, что зарядъ перемѣщается, неся съ собою свои электростатическія линіи, или что онъ впереди постоянно создаетъ радіальное электростатическое поле, а сзади уничтожаетъ его. Такимъ образомъ, если электрическое поле движется нѣсколько бокомъ, то оно создаетъ поле магнитное, какъ въ настоящемъ случаѣ при круговыхъ линіяхъ вокругъ линіи движенія,—такъ какъ движущійся зарядъ представляетъ собою элементъ кругового тока.

Образованіе этихъ магнитныхъ линій вліяетъ на производящій ихъ токъ противодѣйствующимъ образомъ, но, пока ихъ возникновеніе продолжается безпрерывно, онѣ не оказываютъ на него никакого вліянія. Когда же онѣ начинаютъ исчезать, въ нихъ обнаруживается стремленіе продолжить поддерживавшій ихъ токъ. Слѣдовательно, если движущійся зарядъ (или токъ) начинаетъ останавливаться, то это замедленіе встрѣчаетъ нѣкоторое препятствіе; онъ не поддается ослабленію магнитнаго поля, которое было возбуждено и поддерживается его движеніемъ. Для его скорости нѣтъ сопротивленія, и тутъ не можетъ быть и рѣчи о чемъ бы то ни было, эквивалентномъ тренію; препятствіе же встрѣчаетъ его + или — ускореніе, что какъ разъ аналогично инерціи. Если зарядъ находится въ покоѣ, то для приведенія его въ движеніе нужна бо́льшая или меньшая сила; если же онъ движется, то въ немъ проявляется стремленіе сохранить это движеніе.

Зарядъ поэтому дѣйствуетъ такъ, какъ еслибы онъ обладалъ инерціей, и мы съ успѣхомъ можемъ вычислить величину ея.

Пока зарядъ движется, существуетъ и токъ, окруженный кольцами магнитной силы. Если за координатную ось принять направленіе движенія, а за начало координатъ—движущійся зарядъ, то сила въ нѣкоторой точкѣ съ полярными координатами $r\Theta$ выразится очень просто. Представивъ элементъ тока Cds символомъ eu, мы получимъ:

$$H = \frac{eu.\sin\,\Theta}{r^2}$$

Обыкновенное же выраженіе электростатической силы въ той же точкѣ будетъ

$$E = \frac{e}{Kr^2};$$

если движеніе медленно, то это равенство будетъ сохранять свою силу; если же оно быстро, то электрическое поле по направленію оси ослабѣваетъ, а экваторіально—растетъ, какъ это показалъ Хевизайдъ, давшій слѣдующее выраженіе:

$$E = \frac{e}{Kr^2} \cdot \frac{1 - (u/v)^2}{\{1 - (u . \sin\Theta/v)^2\}^{1,5}}$$

гдѣ v есть скорость свѣта.

Въ этомъ случаѣ мѣняется точно также и напряженіе магнитнаго поля; проще всего его выразить въ членахъ величины E и сказать, что *всегда*

$$H = KEu \text{ м. } \sin\Theta$$

Скорость передачи энергіи будетъ векторомъ продуктомъ E и H; вся магнитная энергія или вся энергія, создаваемая токомъ, т. е. обязанная движенію, получится отъ интегрированія обыкновеннаго выраженія $\mu H^2 8_\pi$ по всему пространству внѣ заряженной сферы, т. е. отъ a до ∞. Въ общемъ случаѣ выраженіе это немного длинно, въ наиболѣе же важномъ частномъ, когда скорость движенія u значительно меньше скорости свѣта v, оно принимаетъ весьма простой видъ и можетъ быть представлено такъ:

$$\left.\begin{matrix}\text{Кинетическая} \\ \text{энергія}\end{matrix}\right\} = \int_a^\infty \frac{\mu H^2}{8\pi} d(vol.) =$$

$$= \frac{\mu e^2 u^2}{8\pi} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \int_a^\infty \frac{\sin^2\Theta}{r^4} . dr . rd\Theta . r\sin\Theta d\varphi =$$

$$= \frac{\mu e^2 u^2}{8} \int_0^{2\pi} \int_a^\infty \frac{cos^2\Theta - 1}{r^2} dr . d\cos\Theta = \frac{\mu e^2 u^2}{3a}$$

Сравнивая это выраженіе съ кинетической энергіей $^1/_2\, mu^2$, мы видимъ, что существованіе на сферѣ заряда нѣсколько увеличиваетъ ея кинетическую энергію, какъ будто бы масса ея увеличилась съ прежней величины до количества

$$m = \frac{2\rho e^2}{3a}$$

каковое выраженіе можно написать въ такомъ видѣ:

$$m = \frac{2\rho K.e^2}{3\ Ka} = \frac{2}{3v^2} \cdot e \cdot \frac{e}{Ka} = \frac{2}{3v^2} \times \text{зарядъ} \times \text{потенціалъ},$$

или:

$$\frac{3}{4} mv^2 = \text{электростатической энергіи заряда}$$

Другими словами, эквивалентная заряду масса такова, что если бы она была нѣкоторымъ количествомъ матеріи, обладающимъ постоянною инерціей и движущимся со скоростью свѣта, то ея кинетическая энергія была бы въ полтора раза больше потенціальной энергіи электрическаго заряда въ состояніи покоя.

Б.—Электрическое поле, создаваемое движущимся магнитомъ

Если короткій стержневой магнитъ или равномѣрно намагниченная сфера, моментъ которой M равняется интенсивности намагниченія, помноженной на ея объемъ, движутся вдоль оси, т. е. въ направленіи ихъ намагниченія, со скоростью u, то получаются круговыя линіи, всѣ центры которыхъ лежатъ на этой оси, такъ что движущійся зарядъ образуетъ круговыя линіи магнитной силы. Если вокругъ какого либо изъ этихъ круговъ имѣется проводящій путь, тогда движеніе магнита вдоль оси создаетъ въ немъ токъ; если же нѣтъ проводника, то результатомъ движенія является лишь электрическое перемѣщеніе, идущее на убыль вмѣстѣ съ уменьшеніемъ скорости движенія.

Интенсивноэть магнитнаго поля въ нѣкоторой точкѣ на оси равняется, какъ это хорошо извѣстно, $\frac{2M}{r^3}$; въ точкѣ, лежащей въ экваторіальной плоскости, она равна $\frac{M}{r^3}$; въ любомъ же промежуточномъ направленіи интенсивность эта выражается величиной:

$$H = \frac{M}{r^3}\sqrt{1 + 3cos^2\Theta}$$

Все это справедливо какъ для движущагося магнита, такъ и для находящагося въ стаціонарномъ состояніи, при предположеніи, что скорость его движенія не приближается по величинѣ къ скорости свѣта.

Электрическая сила въ той же точкѣ будетъ:

$$E = \frac{3}{2} \cdot \frac{Mu}{r^3} \cdot \sin 2\Theta =$$

$$= 3\,H\,u. \sqrt{\frac{\sin 2\Theta}{4 + tang^2\Theta}}$$

Электростатическая энергія, гдѣ бы то ни было внѣ движущейся намагниченной сферы радіуса a, выразится интеграломъ величины $\frac{KE^2}{8\pi}$

$$\text{Энергія} = \frac{K}{8\pi}\iiint\left(\frac{3Mu}{r^3}\right)^2 \sin^2\Theta \cdot cos^2\Theta dr \cdot rd\Theta \cdot r\,\sin\Theta d\varphi =$$

$$= \frac{KM^2u^2}{5a^3} = \frac{M^2}{5\mu a^3}\left(\frac{u}{v}\right)^2$$

Перемѣщеніе въ діэлектрикѣ дѣйствуетъ на подобіе упругаго натяженія, увеличивая вышеуказанную статическую энергію; пока магнитъ движется равномѣрно, перемѣщеніе электричества не оказываетъ на него никакого вліянія; при ускореніи же онъ встрѣчаетъ нѣкоторое сопротивленіе. Начавъ двигаться быстрѣе, магнитъ перемѣщается болѣе значительно, а это влечетъ за собою появленіе временнаго тока, который во время

существованія ускоренія препятствуетъ движенію и прекращается лишь въ тотъ моментъ, когда скорость снова становится постоянною.

Если же скорость движенія магнита станетъ, напротивъ того, уменьшаться, то ослабѣваетъ и электрическое напряженіе, результатомъ чего является возникновеніе временнаго обратнаго тока, способствующаго движенію, т. е. препятствующаго его замедленію. Другими словами, измѣненія кругового электрическаго напряженія какъ бы придаютъ движущемуся магниту нѣкоторый добавочный моментъ къ его дѣйствительному моменту механическому; можно сказать, что само упругое напряженіе представляетъ собою нѣкоторую, создаваемую намагниченіемъ, инерцію, прибавляющуюся къ той дѣйствительной механической инерціи, которой обладаетъ тѣло само по себѣ, независимо отъ намагниченія. Величина этой экстра-инерціи будетъ:

$$m = \frac{2KM^2}{5a^3} = \frac{2M^2}{5\mu a^3 v^2}, = \frac{8}{15} \cdot \frac{\pi IM}{\mu v^2} = \frac{2}{5} \cdot \frac{H_0 M}{v^2}$$

гдѣ I—интенсивность намагниченія, а H_0—сила поля внутри вещества равномѣрно намагниченной сферы, съ радіусомъ a и магнитнымъ моментомъ M.

Эквивалентная масса, движущаяся со скоростью свѣта, обладала бы поэтому энергіей, равной одной пятой потенціальной энергіи намагниченной сферы, еслибы послѣдняя двигалась перпендикулярно къ полю, создаваемому собственной ея внутренней интенсивностью намагниченія.

Mutatis mutandis, результатъ этотъ можно примѣнить и къ движущейся молекулѣ, состоящей изъ двухъ невполнѣ другъ съ другомъ совпадающихъ, равныхъ, но противоположныхъ электроновъ.

Часть II

Открытіе атома электричества

Обращаясь еще разъ къ великому трактату Клерка Максвелля, мы находимъ въ главѣ объ электролизѣ слѣдующія слова:

«Предположимъ однако, что мы преодолѣли это затрудненіе, просто утверждая, какъ фактъ, что молекулярный зарядъ имѣетъ постоянную величину; для болѣе же удобнаго описанія назовемъ этотъ постоянный молекулярный зарядъ молекулой электричества».

Такимъ образомъ первоначальная идея атомной природы электричества была навѣяна геніальному человѣку явленіями электролиза и извѣстными законами Фарадея. Но нѣсколькими строками ниже Максвелль пошелъ еще дальше:

«Совершенно невѣроятно, чтобы мы, понявъ истинную природу электролиза, удержали въ той или иной формѣ теорію молекулярныхъ зарядовъ; вѣдь пойми только мы сущность электролиза, у насъ было бы надежное основаніе для возведенія зданія истинныхъ взглядовъ на электрическіе токи; мы не будемъ тогда находиться въ зависимости отъ этихъ предварительныхъ теорій».

Вообще нѣсколько рискованно предсказывать то, что можетъ произойти впослѣдствіи; а что касается настоящаго состоянія науки объ электричествѣ, то оно ничуть не оправдываетъ только что указаннаго предсказанія Максвелля. Какъ бы удивила его та опредѣленность, которой достигла развивающаяся въ настоящее время теорія молекулярныхъ зарядовъ!

Единица электрическаго заряда, зарядъ атомной монады электричества, какова бы она ни была, представляетъ собою естественную единицу электричества. Такихъ единицъ можно

брать, сколько угодно,—нельзя только, насколько это въ настоящее время извѣстно, пользоватьск ихъ долями.

Я приведу слѣдующія слова изъ §2-го параграфа «Современныхъ взглядовъ на электричество» *):

«Эта величина, зарядъ одной атомной монады, представляетъ собою наименьшее извѣстное количество электричества и можетъ служить дѣйствительной естественной единицей. Это—несомнѣнно. Такая единица называется „атомомъ электричества“, такъ какъ неизвѣстна величиная, которая была бы меньше ея. Настоящій терминъ, быть можетъ, имѣетъ нѣкоторое основаніе... Эта естественная единица электричества чрезвычайно мала: она равняется приблизительно одной сто-тысячемилліонной долѣ обыкновенной электростатической единицы или меньше одной сто-трилліонной кулона».

Атомъ вмѣстѣ со своимъ зарядомъ называется іономъ. Заряду, разсматриваемому самому по себѣ, помимо атома, Джонстонъ Стоней далъ названіе электрона или естественной электрической единицы.

Если намъ извѣстно что либо въ электролизѣ съ громадной точностью, такъ это—отношеніе заряда къ связанной съ нимъ массѣ вещества. Совершенно никакого значенія не имѣетъ то, сколько мы беремъ вещества,—сто ли атомовъ или одинъ: возьмемъ ли мы атомъ, граммъ или тонну, связанное съ ними въ электролизѣ и освобождающееся при разложеніи вещества количество электричества возрастаетъ въ одной и той же пропорціи. Отношеніе это постоянно, и разъ оно опредѣлено для одного вещества, то извѣстно и для всѣхъ.

Это отношеніе извѣстно подъ именемъ «электрохимическаго эквивалента» вещества. Если это количество измѣрено для одного вещества, то, въ силу законовъ Фарадея, оно извѣстно и для всѣхъ другихъ, потому что зарядъ есть простое кратное число, одинаковое для любого атома. Поэтому при опредѣленіи электрохимическаго эквивалента нужно принимать въ разсчетъ только атомный вѣсъ или химическую эквивалентность вещества. Такъ, у кислорода электрохимическій эквивалентъ

---

*) Подъ такимъ заглавіемъ переведена на русскій языкъ книга Лоджа «Modern views of electricity».

въ 8 разъ больше, чѣмъ у водорода, у цинка—въ $32^1/_2$, а у серебра—въ 108. Для опредѣленія электрохимическаго эквивалента нужно брать такое вещество, съ которымъ можно экспериментировать наиболѣе точно. Лордъ Рэлей показалъ, что для этого лучше всего пользоваться азотнокислымъ серебромъ. Онъ показалъ, что если отъ серебрянаго анода черезъ растворъ азотносеребряной соли протекаетъ къ платиновому катоду токъ въ одинъ амперъ, то катодъ въ теченіе часа прибавится въ вѣсѣ на $4{,}025$ грамма. Слѣдовательно, электрохимическій эквивалентъ серебра будетъ:

$$\frac{4{,}025 \text{ грамма}}{1 \text{ амперъ-часъ}}$$

электрохимическій же эквивалентъ водорода, составляя $^1/_{108}$ этого количества, выразится величиною:

$$\frac{4{,}025 \text{ грамма}}{108 \text{ амп.-час.}} = \frac{4{,}025}{108 \times 360} \text{ c. g. s.} = 0{,}0001035 \text{ c. g. s.} =$$

$$= \frac{1}{96600} \text{ грамма на кулонъ.}$$

Слѣдовательно, отношеніе атома электричества къ атому водорода выражается $9{,}660\,\mu^{-1/2}$ c. g. s. единицами или приблизительно равно $10^4 \sqrt{\frac{\text{(сант.)}}{\mu \text{ (грам.)}}}$; въ этомъ выраженіи неизбѣжно существованіе неизвѣстной постоянной μ, такъ какъ мы сравниваемъ между собою количества. измѣряемыя различными путями, а именно электричество и матерію (см. приложеніе Д).

Численное значеніе этой величины извѣстно сравнительно точно *), т. е., другими словами, оно соотвѣтствуетъ предѣлу ошибки опыта. Затѣмъ намъ надо опредѣлить величину массы

*) Десятичные знаки вполнѣ точно даны выше; но тотъ фактъ, что 1 кулонъ или 1 амперъ-секунда составляетъ одну десятую c. g. s.-единицы, вводитъ постоянно въ заблужденіе и ошибку, потому что вольтъ совершенно безсмысленно опредѣленъ, какъ 10^8, вмѣсто 10^9.
Прим. автора.

атома. Это можно сдѣлать и было сдѣлано нѣсколькими способами. Благодаря Джонстону Стоней и Лошмидту, а главнымъ образомъ лорду Кельвину, мы знаемъ, что масса атома воды равна приблизительно 10^{-24} гр., что для атома водорода даетъ около 10^{-25} грамма. Отсюда единица электрическаго заряда составляетъ 10^{-21} с. g. s. магнитныхъ единицъ, 10^{-10} электростатическихъ или 10^{-20} кулоновъ.

Я особенно останавливаюсь на вопросѣ объ отношеніи m къ e или e къ m, потому что въ послѣдующемъ оно играетъ очень большую роль. Абсолютныя значенія чиселъ менѣе важны, чѣмъ составляемое ими отношеніе, и извѣстны только приблизительно. Что же касается ихъ отношенія, то для водорода оно очень близко къ 10^4 магнитнымъ единицамъ или, точнѣе, къ 9660.

Въ немногихъ словахъ, вотъ чему учитъ насъ электролитическая проводимость: каждый атомъ несетъ на себѣ нѣкоторый опредѣленный зарядъ или единицу электричества; на монадахъ ихъ по одной, на діадахъ—по двѣ, на тріадахъ—по три. Долей же такой единицы не бываетъ никогда. Въ жидкостяхъ заряды эти вполнѣ опредѣленнымъ образомъ связываются съ атомами и могутъ оторваться отъ нихъ лишь на электродахъ. Токъ есть не что иное, какъ рядъ такихъ движущихся вмѣстѣ съ атомами зарядовъ. Въ зависимости отъ точки зрѣнія, съ которой мы разсматриваемъ процессъ, надо признать, что или атомы несутъ на себѣ заряды, или послѣдніе словно буксируются первыми.

Проводимость газовъ

Оставимъ теперь въ сторонѣ жидкости и обратимся къ проводимости находящихся подъ очень низкими давленіями газовъ,—другими словами, къ явленіямъ, имѣющимъ мѣсто въ разрѣженныхъ трубкахъ. Возьмемъ длинную стеклянную трубку, напримѣръ, въ одинъ ярдъ длиною и два дюйма шириной, наполненную обыкновеннымъ воздухомъ и снабженную на концахъ электродами; соединимъ эти электроды съ полюсами индукціонной катушки, обычный искровой промежутокъ которой пусть

будетъ въ два-три дюйма. Если мы сообщимъ теперь эту трубку съ воздушнымъ насосомъ, то увидимъ, что черезъ нѣкоторое время послѣ того, какъ онъ былъ пущенъ въ ходъ, электрическій разрядъ предпочитаетъ пройти черезъ толщу одного-двухъ дюймовъ обыкновеннаго воздуха, чѣмъ черезъ всю длину трубки, заполненной воздухомъ, отчасти разрѣженнымъ, что однако не имѣетъ уже мѣста при нѣкоторой степени разрѣженія, достигаемой даже достаточно грубымъ насосомъ. Въ трубкѣ появляется прекрасно видимый въ темнотѣ мерцающій свѣтъ, который очень скоро принимаетъ видъ красныхъ потоковъ, на подобіе сѣвернаго сіянія. Снаружи, въ обыкновенномъ воздухѣ, искры уже не проскакиваютъ, показывая тѣмъ, что разрѣженный воздухъ сталъ теперь лучшимъ проводникомъ и представляетъ собою болѣе удобный для разряда путь. Если продолжать выкачиваніе далѣе, то ось трубки начинаетъ свѣтиться блескомъ, становящимся все свѣтлѣе и свѣтлѣе, обнаруживая какъ бы ленту или нить тока. Искровой промежутокъ катушки можно теперь постепенно укоротить до одной десятой дюйма, или даже еще болѣе, безъ того, чтобы въ немъ проскакивала искра. Это указываетъ, что разрѣженный воздухъ сталъ теперь очень хорошимъ проводникомъ. Если достигнуть той степени разрѣженія, при которой атмосфера трубки имѣетъ наилучшую проводимость, то трубка наполняется блескомъ, называемымъ положительнымъ свѣтомъ (positive column). Дѣйствія обоихъ концовъ трубки, повидимому, совершенно тождественны. Будемъ производить выкачиваніе еще болѣе; будемъ производить его настолько далеко, чтобы явилась необходимость въ гораздо лучшемъ насосѣ, чѣмъ обыкновенные. Обратимся, напримѣръ, къ масляному или ртутному насосу. Тогда свѣтовой столбъ, наполнявшій всю трубку, постепенно теряетъ свой ярко-красный или малиновый оттѣнокъ и обращается во множество очень тоненькихъ кружечковъ, имѣющихъ форму монетъ и видимыхъ наблюдателю своими ребрами. Искровой промежутокъ надо при этомъ увеличить немного болѣе, на четверть или полъ-дюйма, чтобы не допустить черезъ него разряда. Вблизи катода теперь становится замѣтнымъ темное пространство, а самъ катодъ покрывается весь сіяніемъ, между тѣмъ какъ анодъ свѣтится обыкновенно только

въ одной-двухъ точкахъ. По мѣрѣ дальнѣйшаго выкачиванія, струйки, изъ которыхъ состоялъ положительный столбъ, темнѣютъ и отдѣляются одна отъ другой. Темное близъ катода пространство расширяется къ аноду, занимая мѣсто бывшаго раньше столба положительнаго свѣта, и принимаетъ наконецъ такой видъ, что словно оно наполняетъ теперь собою трубку. Но, еще раньше этого явленія, сіяніе у катода начинаетъ слоиться, образуя внутри себя другое темное пространство, болѣе узкое и гораздо болѣе темное. Первое темное пространство носитъ названіе темнаго пространства Фарадея, а второе извѣстно вообще подъ именемъ Круксова. Теперь увеличивается толщина второго темнаго пространства, которое, по мѣрѣ того какъ продолжаютъ дальнѣйшее выкачиваніе, все болѣе и болѣе отодвигаетъ отъ себя находящееся надъ нимъ сіяніе; искровое пространство должно быть по возможности увеличено, но все же разрядъ предпочитаетъ довольно длинный путь черезъ воздухъ. Если продолжать выкачиваніе еще дальше, то все сіяніе исчезаетъ, а второе темное пространство наполняетъ всю трубку. Теперь наблюдается новое явленіе: стеклянныя стѣнки трубки начинаютъ свѣтиться форфоресцирующимъ свѣтомъ, цвѣтъ котораго зависитъ отъ рода употребляющагося стекла, но вообще имѣетъ обыкновенно зеленоватый оттѣнокъ; это, вѣроятно, указываетъ на границу темнаго пространства. Если продолжать разрѣженіе еще больше, то сопротивленіе трубки становится очень большимъ, и искра предпочтетъ ей скорѣе такой же, а то даже и болѣе длинный путь черезъ обыкновенный воздухъ. Это и есть то состояніе трубки, которое такъ подробно изслѣдовалось Круксомъ, Ленаромъ, Рентгеномъ и многими другими наблюдателями. Эти-то явленія въ темномъ пространствѣ и представляютъ наибольшій интересъ.

Катодные лучи

До сихъ поръ мы предполагали, что роль катода играетъ латунная шишечка или какая либо другая, вводимая внутрь трубки, удобная оконечность. Если же мы станемъ пользоваться, какъ это дѣлалъ Круксъ, разными другими формами

катодовъ, употребляя, напримѣръ, плоскій дискъ или кусокъ металла въ видѣ вогнутаго блюдечка, то, вводя въ этомъ случаѣ въ темное пространство различныя вещества, мы увидимъ, что пространство это обладаетъ нѣкоторыми свойствами, которыя можно прекрасно опредѣлить, сказавъ, что оно представляетъ собою область катодныхъ лучей, т. е., другими словами, лучей или вообще чего-то такого, что исходитъ изъ катода. Это нѣчто невидимо, однако, до тѣхъ поръ, пока не встрѣтитъ нѣкотораго препятствія; это нѣчто, повидимому, распространяется по прямымъ линіямъ и производитъ замѣтное дѣйствіе только тогда, когда его распространеніе задерживается; это нѣчто можно сравнить съ выпущенной изъ ружейнаго дула пулей, которая совершенно незамѣтна въ то время, когда летитъ, но можетъ произвести при встрѣчѣ мишени внезапную вспышку и причинить даже какую либо другую аварію. Такъ и съ катодными лучами: область ихъ распространенія есть темное пространство. Границы его, о которыя ударяются падающія частицы, свѣтятся. Ярко фосфоресцируютъ отъ этихъ частицъ вещества, обладающія фосфоресцирующею способностью, какъ-то: нѣкоторые минералы и даже стекло. Путь, по которому направляются эти лучи, можно распознавать по пятнамъ, производимымъ ими на покрытой фосфоресцирующимъ порошкомъ слюдяной пластинкѣ, помѣщенной своимъ рантомъ вдоль направленія ихъ распространенія. Такимъ образомъ можно показать, что они распространяются по совершенно правильнымъ прямымъ линіямъ, отнюдь не задѣвая другъ друга и вполнѣ уподобляясь пулямъ, выпущеннымъ изъ огромнаго множества параллельно поставленныхъ ружей. Встрѣчая стеклянныя стѣнки трубки, они заставляютъ ихъ фосфоресцировать; если же разрѣженіе не достигло достаточной степени, то они встрѣчаютъ на своемъ пути въ трубкѣ остатки воздуха, въ которыхъ также вызываютъ фосфоресценцію, что обнаруживается въ сіяніи, окружающемъ обыкновенно темное пространство.

Эти лучи обладаютъ громаднѣйшей энергіей, что можно показать, концентрируя ихъ вогнутымъ блюдечкообразнымъ катодомъ, собирающимъ ихъ какъ бы въ фокусѣ. Если въ этотъ фокусъ помѣстить кусокъ платины, то при неслишкомъ высокой степени разрѣженія онъ обнаружитъ слѣды краснаго ка-

ленія, т. е., другими словами, будетъ испускать свѣтъ. При болѣе значительномъ разрѣженіи, теплоты будетъ создаваться меньше, но зато такія вещества, какъ квасцы и другія щелочно-земельныя соединенія, начнутъ испускать фосфоресцирующій свѣтъ. Если же выкачиваніе продолжать еще дальше, то обстрѣливаемая мишень начинаетъ излучать уже невидимый свѣтъ, т. е. тотъ гораздо болѣе сильный родъ радіаціи, который извѣстенъ подъ именемъ рентгеновскихъ или Х-лучей. Можно, впрочемъ, нѣсколько сомнѣваться въ томъ, испускаетъ ли эти лучи сама мишень, или же роль ея сводится лишь къ болѣе или менѣе внезапной остановкѣ ея болѣе массивными атомами того, что на нее падаетъ. А если это такъ, то наилучшую мишень надо дѣлать изъ вещества, состоящаго изъ наиболѣе тяжелыхъ атомовъ. Х-лучи испускаются, вѣроятно, внезапно останавливающимися падающими частицами, какъ указываютъ на это изслѣдованія Стокса и проф. Дж. Дж. Томсона. Это ясно всякому, кто занимался изученіемъ свойствъ электрическихъ зарядовъ, движущихся со скоростью свѣта, каковой вопросъ блестяще разработанъ Хевизайдомъ въ его объемистомъ сочиненіи, подъ заглавіемъ *Электромагнитная теорія*.

Катодные лучи обладаютъ замѣчательною способностью проникать сквозь находящіяся на ихъ пути тѣла. Такъ, напримѣръ, Герцъ нашелъ, что тонкая металлическая діафрагма, особенно алюминіевая, почти не въ состояніи задержать вполнѣ ихъ сквозь нее прохожденіе. Это можно демонстрировать какъ фосфоресценціей, такъ и нѣкоторыми другими явленіями, имѣющими мѣсто въ трубкѣ за діафрагмой.

Положеніе анода не играетъ въ подобныхъ опытахъ почти никакой роли. Онъ можетъ быть какимъ угодно и гдѣ угодно. Удобнѣе же всего его устраивать въ видѣ цилиндра, черезъ который проходятъ бомбардирующіе катодные лучи. Бомбардирующія частицы распространяются по прямымъ линіямъ и избѣгаютъ заворачиванія за углы. Если, напримѣръ, трубка изогнута въ видѣ буквы V, то они не обращаютъ вниманія на положеніе анода и обстрѣливаютъ ту ея стѣнку, которая расположена какъ разъ противъ нихъ.

Ленаръ удивительно развилъ открытіе Герца, искусно по-

строивъ трубку съ очень тонкой алюминіевой наружной стѣнкой, приспособленной для выдерживанія внѣшняго атмосфернаго давленія. Затѣмъ онъ направилъ бомбардирующіе катодные лучи на это оконце или алюминіевую пластинку и показалъ, что они не только могутъ проходить сквозь нее, но даже и обнаруживаютъ свойственные имъ эффекты въ обыкновенной наружной атмосферѣ. Здѣсь они извѣстны подъ именемъ лучей Ленара, названныхъ такъ въ честь неутомимаго ихъ изслѣдователя, друга и ученика Герца.

Эти ленаровскіе лучи вызываютъ фосфоресценцію воздуха и производятъ нѣкоторыя другія явленія, свойственныя катоднымъ лучамъ. Они только задерживаются на сравнительно короткомъ разстояніи тѣмъ громаднымъ препятствіемъ, которое встрѣчаютъ въ лицѣ вещества плотности обыкновеннаго воздуха. Задерживающая способность этихъ веществъ, повидимому, пропорціональна количеству содержащейся въ нихъ матеріи, совершенно независимо отъ природы послѣдней. Толстый слой воздуха для нея непрозраченъ приблизительно также, какъ слой воды, толщина котораго въ 800 разъ меньше. Лучи эти проникаютъ даже сквозь поставленное на ихъ пути твердое тѣло, если только оно достаточно тонко и не слишкомъ массивно; тогда и по другую его сторону имѣютъ мѣсто явленія фосфоресценціи. Лучи Ленара могутъ дѣйствовать и на фотографическую пластинку; вообще они производятъ тѣ же явленія, что и открытые послѣ нихъ лучи Рентгена, только въ нѣсколько меньшей степени. Да и способность ихъ проникать сквозь находящіяся на ихъ пути вещества гораздо меньше.

Лучи Ленара представляютъ собою, очевидно, исходящіе изъ трубки катодные лучи, и, когда они были открыты, на нихъ смотрѣли обыкновенно, какъ на потокъ заряженныхъ частицъ матеріи. Эта гипотеза встрѣчала нѣкоторое затрудненіе въ томъ чрезмѣрномъ, около дюйма, разстояніи, которое могутъ проходить въ обыкновенномъ воздухѣ подобныя частицы, тогда какъ даже и матеріальные атомы не въ состояніи пройти сквозь толщу въ 0,001 дюйма обыкновеннаго воздуха, не претерпѣвъ множества взаимныхъ столкновеній.

Поэтому Ленаръ обратился ко взгляду, что эти частицы— не матеріальныя, а эфирныя. Хотя подобный взглядъ и не вы-

держиваетъ критики въ томъ направленіи, котораго придерживался, вѣроятно, Ленаръ, такъ какъ это—и не эфирныя волны, и не что либо вродѣ радіаціи; однако, какъ мы увидимъ, это—и не обыкновенныя матеріальныя частицы, а нѣчто большее, чѣмъ катодные лучи. Это-то и разсмотримъ мы теперь, а для того обратимся къ наблюденіямъ Крукса въ 1879 году.

Природа катодныхъ лучей

Если принять, что катодные лучи представляютъ собою заряженныя частицы, то, согласно терминологіи этого воззрѣнія, ихъ удары отчасти превратятся въ теплоту, а отчасти въ колебаніе соударяемыхъ частицъ. Результатомъ тѣхъ же ударовъ отчасти будетъ и свѣтъ или фосфоресценція, обязанная, какъ и въ обычномъ процессѣ радіаціи, запасу электрически заряженныхъ атомовъ или, лучше сказать, электрическихъ зарядовъ на атомахъ; отчасти же удары эти обратятся въ Х-лучи. Всѣхъ этихъ явленій можно достигнуть при различныхъ степеняхъ разрѣженія круксовой трубки. *Моментъ* исходящихъ отъ катода частицъ можно обнаружить, поставивъ на ихъ пути нѣчто вродѣ флюгера или вѣтряной мельницы, которые будутъ подвержены нѣкоторому механическому дѣйствію точно также, какъ приходятъ въ движеніе крылья радіометра вслѣдствіе толчковъ, даваемыхъ имъ молекулами воздуха, находящагося въ приборѣ, если къ послѣднему поднести нагрѣтую поверхность, что обусловливаетъ своего рода потокъ между крыльями и стѣнками заключающаго ихъ сосуда. Центръ тяжести опыта съ электрической разрѣженной трубкой лежитъ, повидимому, въ пространствѣ между катодомъ или, такъ сказать, пушечнымъ жерломъ—съ одной стороны, и крыльями или мишенью—съ другой. Распространяющаяся впередъ сила есть, очевидно, сила электрическаго отталкиванія, а частицы переносятся, какъ и въ обыкновенномъ электролизѣ, къ мѣсту низшаго потенціала. Но въ то время, какъ въ электролизѣ онѣ постоянно сталкиваются и движутся поэтому очень медленно,—въ сильно разрѣженной трубкѣ онѣ на протяженіи нѣсколькихъ дюймовъ могутъ про-

текать совершенно свободно, ничего не встрѣчая на своемъ пути, а потому и не производя какой бы то ни было пертурбаціи. Въ результатѣ этого и появляется темное пространство; другія же явленія имѣютъ мѣсто только тамъ, гдѣ частицы встрѣчаютъ то или иное препятствіе.

Такого взгляда на катодные лучи придерживался весь міръ послѣ открытія Крукса. Предполагалось, что они представляютъ собою потокъ атомовъ, движущихся съ обыкновенной молекулярной скоростью, но обладающихъ только большою длиной свободнаго пути. Послѣдній долженъ быть гораздо длиннѣе, чѣмъ этого можно было бы ожидать по обыкновенной теоріи газовъ. Громадная длина свободнаго пути служила нѣкоторымъ затрудненіемъ въ ученіи о томъ, что въ катодныхъ лучахъ мы имѣемъ дѣло съ потокомъ атомовъ, подчиняющихся обычнымъ законамъ газовъ. Кромѣ того, что все электрическое движеніе впередъ было въ одномъ и томъ же направленіи, предполагалось также, что оно распространяется болѣе правильно, а потому взаимныя столкновенія частицъ гораздо рѣже, чѣмъ еслибы послѣднія двигались въ безпорядкѣ. Эта-то правильность и даетъ имъ моментъ; ихъ движеніе не создаетъ теплоты, и на него нельзя смотрѣть, какъ на температуру; онѣ движутся на подобіе вѣтра, и имъ ничуть не свойственны тѣ неправильныя и безпорядочныя движенія, къ которымъ относятся термины «теплота» и «температура», и которыя отвѣчаютъ обыкновенной кинетической теоріи газовъ. Круксъ высказалъ смѣлое предположеніе, что полученное имъ представляетъ собою матерію въ «четвертомъ состояніи», и что, слѣдовательно, находящееся въ его трубкахъ есть нѣчто, эквивалентное тому, о чемъ шла рѣчь въ «корпускулярной» теоріи свѣта. Но его предположеніе имѣло судьбу тѣхъ проблесковъ мысли, которые иногда разрѣшаются авторамъ, но подвергаются насмѣшкамъ со стороны ортодоксальной науки ихъ времени. Что касается аналогіи съ теоріей истеченія, то ее нельзя было не высказать, разъ частицы движутся достаточно быстро; насколько же вѣрно первое предположеніе, т. е. что заключающаяся въ темномъ пространствѣ матерія находится въ четвертомъ состояніи, которое ни твердо, ни жидко, ни газообразно, то это мы сейчасъ увидимъ.

Разсмотримъ теперь доводы, говорящіе въ пользу того взгляда, по которому катодные лучи такъ или иначе представляютъ собою заряженныя частицы, находящіяся въ нѣкоторомъ крайне быстромъ движеніи. Что онѣ движутся, это подтверждаетъ фактъ производимаго ими бомбардированія, вращающаго крылья, нагрѣвающаго платину и т. п.; а чтобы показать, что онѣ заряжены, на ихъ пути можно поставить соединенный съ электроскопомъ полый сосудъ, какъ это и дѣлалъ Перринъ. Есть, впрочемъ, и другой способъ для обнаруженія въ нихъ свойствъ, присущихъ электрическому току. Если онѣ, будучи заряженными, находятся въ движеніи, то, по Максвеллевой теоріи, должны образовать токъ, а, слѣдовательно, быть въ состояніи какъ отклонять магнитъ, такъ и сами имъ отклоняться. Въ этомъ-то и кроется одинъ изъ самыхъ простыхъ и важныхъ физическихъ опытовъ настоящаго времени. Въ 1879 году Круксъ облекъ во вполнѣ опредѣленную форму старые опыты Гольдштейна и другихъ наблюдателей, занимавшихся изслѣдованіями явленій въ разрѣженныхъ трубкахъ. Онъ пропускалъ часть лучей черезъ щель и судилъ объ ихъ присутствіи по производимому ими свѣтовому эффекту: скользя вдоль поверхности слюдяной пластинки, онѣ вызывали фосфоресценцію порошка, которымъ она была покрыта. Затѣмъ Круксъ отклонялъ эти лучи обыкновеннымъ подковообразнымъ магнитомъ. При поднесеніи магнита направленіе лучей внезапно искривлялось, что и доказывало, что наблюдавшійся пучокъ свѣта есть не что иное, какъ потокъ заряженныхъ частицъ, отклоняемыхъ магнитомъ и обнаруживающихъ всѣ свойства электрическаго тока. Совершенно то же явленіе можно наблюдать и въ томъ случаѣ, если токъ протекаетъ по металламъ, что было открыто Холлемъ и извѣстно подъ именемъ явленія Холля.

Уже одного того факта, что частицы отлетаютъ отъ катода, повидимому, съ силою отталкиваемыя имъ, достаточно, чтобы предположить, что онѣ заряжены отрицательно; направленіе производимаго магнитнымъ полемъ искривленія также даетъ намъ возможность заключить, что зарядъ движущихся частицъ отрицателенъ; однако соотвѣтственнаго потока положительныхъ частицъ не наблюдалось ни въ противоположномъ, ни въ какомъ либо другомъ направленіи. Въ этомъ отношеніи

магнитное искривленіе катодныхъ лучей сильно отличается отъ такого же искривленія тока, протекающаго по металламъ. Въ металлѣ, въ зависимости отъ его природы, дѣйствуетъ либо отрицательный, либо положительный токъ, который всегда незначителенъ; что же касается газовъ, то протекающій въ нихъ токъ всегда отрицательный и притомъ всегда сильный. Поэтому кажется, что въ разрѣженной трубкѣ отрицательно заряженное тѣльце гораздо болѣе подвижно, чѣмъ тѣльце положительное, и что подвижность отрицательно заряженныхъ тѣлецъ очень велика. Одинъ изъ удивительныхъ методовъ, обнаружившихъ эту подвижность, данъ профессоромъ Шустеромъ, наблюдавшимъ, что газъ во всѣхъ частяхъ содержащаго его сосуда становится проводящимъ, если гдѣ нибудь въ этомъ сосудѣ производится электрическій разрядъ. Сосудъ можетъ состоять даже изъ различныхъ отдѣленій,—и всетаки, при производствѣ разряда въ одномъ изъ нихъ, другое становится до нѣкоторой степени проводникомъ, указывая тѣмъ на имѣющееся между ними нѣкоторое газовое сообщеніе; на это можно смотрѣть такъ, какъ еслибы какія нибудь подвижныя частицы, вѣроятно, отрицательно заряженныя частицы катодныхъ лучей, могли переходить въ очень короткое время на значительное разстояніе и играть такимъ образомъ нѣкоторую роль въ передачѣ электрическаго тока. Обнаруживающаяся проводимость газовъ дѣйствительно обязана цѣликомъ этимъ отдѣльнымъ диссоціирующимъ заряженнымъ частицамъ: гдѣ онѣ отсутствуютъ, тамъ газъ не проводитъ вовсе. Будучи слабымъ діэлектрикомъ, онъ можетъ быть разрушенъ болѣе или менѣе значительной силой, но токъ не можетъ пройти черезъ него. Если же только гдѣ нибудь есть такія диссоціирующія частицы, то газъ становится похожимъ во всѣхъ отношеніяхъ на электролитъ, отвѣчающій на самое слабое электрическое вліяніе. При разрывѣ воздуха электрическимъ разрядомъ оказывается, что окружающій воздухъ также становится электролитичнымъ. Впрочемъ, эта его электролитичность продолжается недолго. Подвижность частицъ, позволяющая имъ переходить значительное разстояніе, даетъ имъ вмѣстѣ съ тѣмъ возможность, отдѣляясь другъ отъ друга, прилипать къ стѣнкамъ сосуда и даже, быть можетъ, соединяться съ противоположными, сравнительно неподвижными положительными за-

рядами, съ которыми въ своемъ быстромъ движеніи онѣ могутъ случайно сталкиваться по истеченіи нѣкотораго времени. Впрочемъ, Тоунзендъ нашелъ, что при отсутствіи въ сосудѣ пыли проводящая способность сохраняется въ теченіе неожиданно долгаго времени. Пыльныя частицы, вѣроятно, принимаютъ на себя и собираютъ заряды, способствуя такимъ образомъ обмѣну, который иначе можетъ быть случайно нѣсколько замедленъ отсутствіемъ столкновеній. Время, которое проходитъ до тѣхъ поръ, пока въ свободномъ отъ пыли воздухѣ не пропадетъ совершенно проводимость, указываетъ, что движущіяся частицы должны быть очень невелики, такъ какъ лишь при этомъ условіи столкновенія могутъ происходить очень рѣдко.

Подвижность газа или его диффундирующая способность зависитъ отъ его средняго свободнаго пути, который въ свою очередь находится въ зависимости отъ величины атомовъ: чѣмъ они меньше, тѣмъ у нихъ менѣе вѣроятности столкнуться. Вотъ почему такъ рѣдки столкновенія въ астрономіи: дѣйствующія въ ней тѣла невелики по сравненію съ заключающимися между ними пространствами. Явленія, обнаруживаемыя заряженными частицами, указываютъ, что онѣ, повидимому, нѣсколько меньше атомовъ. Кажется мало вѣроятнымъ, чтобы дѣло съ матеріальными атомами обстояло такъ, какъ оно обстоитъ; оказывается, что, по представленію нѣкоторыхъ философовъ, съ докторомъ Джонстономъ Стонеемъ среди нихъ, электрическіе заряды дѣйствительно существуютъ на атомахъ въ концентрированной формѣ, уподобляясь по отношенію къ нимъ спутникамъ планетъ. По этому воззрѣнію, вполнѣ возможно, что движущіяся частицы могутъ быть вовсе не заряженными атомами, а простыми зарядами безъ атомовъ, отдѣльными концентрированными зарядами, сбитыми въ кучу силою разряда и ставшими затѣмъ снова свободными. Они движутся съ огромной скоростью, такъ какъ, и ставъ свободными, подвержены той значительной силѣ, подъ вліяніемъ которой находились раньше, а вмѣстѣ съ тѣмъ лишены помѣхи въ видѣ матеріальныхъ атомовъ, съ которыми были соединены. Правда, такіе безтѣлесные заряды, такіе электрическіе духи никогда не наблюдались. Всѣ извѣстные до сихъ поръ электростатическіе опыты производились всегда надъ заряженной матеріей, надъ поверхностью или границей матеріи,

оказывающими на электрическій зарядъ локальное вліяніе. Явленія электролиза подтвердили и доказали, что атомы могутъ нести на себѣ заряды, и что поэтому при электризаціи жидкости множество атомовъ на ея поверхности обращаютъ свои одинаково заряженные полюсы наружу; какъ всѣмъ намъ извѣстно, то же можетъ быть вѣрно и для металловъ; въ этомъ случаѣ всякій зарядъ соединенъ, повидимому, съ матеріей.

Въ то же время явленія, имѣющія мѣсто на электродѣ, гдѣ іонъ, отдавъ свой зарядъ, уходитъ безъ него, указываютъ на *возможность* существованія электрическаго заряда, какъ такового, на возможность своего рода перехода его отъ одного атома къ другому. А при этомъ онъ, конечно, можетъ существовать и помимо атома. Въ продолженіе этой временной изолированности онъ можетъ быть вполнѣ свободнымъ.

Такіе гипотетическіе заряды, такая единица заряда или зарядъ атомной монады, носятъ названіе *электронъ*. Говоря объ «электронѣ», я буду означать этимъ словомъ изолированный, въ настоящее время чисто гипотетическій зарядъ; терминомъ же «іонъ» я буду обозначать всегда совокупность атома и его заряда.

Если образующія катодные лучи движущіяся частицы скорѣе электроны, чѣмъ іоны, т. е. если онѣ представляютъ отдѣльные заряды, оставившіе за собой свои атомы (эти атомы онѣ оставляютъ, вѣроятно, заряженными положительно), то вполнѣ естественны какъ ихъ подвижность и способность диффундировать, такъ и значительная скорость ихъ движенія. Хотя эти частицы—и не матерія въ обыкновенномъ смыслѣ, но мы безъ труда можемъ обнаружить въ нихъ нѣкоторыя свойства, присущія матеріи. Однимъ изъ таковыхъ свойствъ является инерція: мы уже видѣли, что и электрическіе заряды обладаютъ своего рода инерціей. Слѣдовательно, эти электроны обладаютъ во время движенія нѣкоторымъ моментомъ, который дастъ имъ возможность, напр., вращать вѣтряныя мельницы. Обладая же кинетической энергіей, онѣ могутъ нагрѣвать кусокъ платины, а при внезапномъ прекращеніи массивной мишенью ихъ крайне быстраго движенія онѣ способны вызвать явленія фосфоресценціи и даже внезапное образованіе тѣхъ радіацій, которыя извѣстны подъ именемъ X-лучей.

Увеличеніе инерціи заряда при его движеніи

Теперь возникаетъ вопросъ, остается ли во время быстраго движенія заряженнаго тѣла постояннымъ и неизмѣннымъ распредѣленіе на немъ заряда вмѣстѣ со своими силовыми линіями. Вѣдь если расположеніе силовыхъ линій мѣняется, то легко можетъ произойти и слишкомъ значительное измѣненіе инерціи, обязанной ихъ стороннему движенію.

Такъ, напримѣръ, представимъ себѣ, что силовыя линіи тѣла становятся во время его движенія болѣе сконцентрированными по направленію оси или линіи движенія; это сразу уменьшило бы стороннюю слагающую ихъ движенія, уменьшило бы поэтому и магнитную силу, вызываемую этой сторонней слагающей, и привело бы такимъ образомъ къ уменьшенію явной или электромагнитной инерціи движущагося заряда.

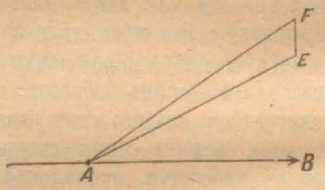
Съ другой стороны, еслибы линіи сконцентрировывались вдоль экватора или въ плоскости, нормальной къ направленію движенія, тогда бо́льшая слагающая ихъ движенія была бы такого рода, что возбуждала бы магнитное поле; а потому, разъ вслѣдствіе такого концентрированія возросла бы интенсивность какъ того, такъ и другого поля, то стала бы больше и вся передаваемая энергія ($V=EH$), замѣтно увеличилась бы и инерція.

Такимъ образомъ, слѣдовательно, оказывается вполнѣ возможнымъ, что электрическая инерція такъ или иначе зависитъ отъ скорости, что неизвѣстно въ области простой механики. Я не хочу сказать, что въ механикѣ такая зависимость навѣрное *невѣрна*; напротивъ того, я чувствую всѣмъ существомъ своимъ, что она окажется справедливой для матеріи, движущейся достаточно быстро, и что она можетъ оказаться правильной въ практическомъ примѣненіи къ нѣкоторымъ достаточно быстрымъ астрономическимъ движеніямъ. Если же что возможно и даже несомнѣнно, это—то, что теорія указываетъ на возрастаніе электрической инерціи при чрезмѣрно-значительныхъ скоростяхъ: Хевизайдъ вычислилъ даже величину этого измѣненія.

Слѣдя за движеніемъ заряда, можно замѣтить, что оно

производитъ круговыя магнитныя силовыя линіи. Линіи эти не стаціонарны, но движутся точно также, какъ движется тѣло; слѣдовательно, онѣ создаютъ новыя электрическія линіи, т. е. вызываютъ нѣкоторое, направленное отъ оси, электрическое смѣщеніе, накладывающееся на первоначальное, обязанное заряду, перемѣщеніе, распространяющееся радіально отъ центра или къ центру.

При обыкновенной и даже при довольно значительныхъ скоростяхъ этотъ электрическій эффектъ второго порядка незамѣтенъ; но онъ существуетъ постоянно, и имъ не слѣдуетъ



A—зарядъ, AB—линія, по которой онъ движется, и AE—электрическая его сила въ опредѣленномъ направленіи, когда онъ находится въ стаціонарномъ состояніи; EF—магнитно-индуктированная электрическая слагающая, обусловливаемая движеніемъ, и AF—результирующая электрическая сила, замѣняющая первоначальную силу AE. Магнитная сила, движеніе которой обусловливаетъ EF, перпендикулярна къ плоскости рисунка и сама создается движеніемъ; слѣдовательно, EF есть малое количество второго порядка для скоростей, гораздо меньшихъ скорости свѣта.

пренебрегать, разъ движеніе происходитъ съ очень большою скоростью. Съ приближеніемъ этой послѣдней къ скорости свѣта онъ возрастаетъ до громадной величины; если же движеніе распространяется гораздо медленнѣе распространенія свѣта, то такимъ эффектомъ второго порядка можно смѣло и пренебречь.

Возникающій такимъ образомъ электрическій эффектъ измѣняетъ, какъ это показалъ Хевизайдъ, распредѣленіе заряда, заставляя его при очень большой скорости стекать съ полюсовъ и концентрироваться на экваторѣ заряженной сферы. Когда же наконецъ скорость, съ которою движется наша сфера, достигаетъ величины скорости свѣта, тогда весь зарядъ соби-

рается на экваторѣ, а остальныя части сферы оказываются лишенными его. Что же касается электрическихъ силовыхъ линій, то онѣ развертываются вѣеромъ въ экваторіальной плоскости, на подобіе спицъ колеса, быстро движущагося по продолженію своей оси. Окружность же этого колеса представляетъ собою направленіе магнитнаго поля.

Можно показать, что создаваемая движеніемъ заряженнаго тѣла магнитная сила зависитъ отъ отношенія скорости движенія къ скорости свѣта, т. е. отъ величины u/v. Отъ того же отношенія зависитъ и вторичная электростатическая сила, вызываемая движеніемъ этого магнитнаго поля. Слѣдовательно, измѣненіе первоначальнаго однороднаго электростатическаго поля будетъ порядка u^2/v^2. И если только можно пренебрегать величинами этого порядка, то распредѣленіе, а, слѣдовательно, и инерція движущагося заряда практически остаются постоянными.

Если же скорость движенія сферы приближается къ величинѣ скорости свѣта, если она даже не болѣе одной десятой этой послѣдней, то тогда уже можно ожидать увеличенія на 1 процентъ,—должно произойти что-то вродѣ однопроцентнаго увеличенія инерціи.

Подробное изслѣдованіе показываетъ, что при достиженіи скоростью движенія сферы величины, равной скорости свѣта, инерція становится безконечной; но, вѣроятно, и надобности-то нѣтъ доходить до этихъ предѣловъ; во всякомъ случаѣ она будетъ тогда очень большою, и потому легко можно допустить, что никогда нельзя заставить матерію, по крайней мѣрѣ матерію заряженную, двигаться со скоростью, большею скорости свѣта. Впрочемъ, несмотря на это, можетъ быть нѣчто, совершенно подобное тому, что возможно для пули, движущейся въ воздухѣ со скоростью, превышающею скорость звука. Послѣднее происходитъ вслѣдствіе адіабатическаго сгущенія воздуха передъ пулею, благодаря чему и можно превзойти скорость звука на желаемую величину.

Если, впрочемъ, въ эфирѣ и происходитъ что либо подобное, то, конечно, не то же самое.

Хевизайдъ и профессоръ Дж. Дж. Томсонъ показали, что если скорость движенія все время больше скорости свѣта, то

Государственная ордена Ленина БИБЛИОТЕКА СССР

радіальная плоскость, въ которой вѣерообразно расположены силовыя линіи, загибается назадъ и образуетъ коническую поверхность, постепенно суживающуюся при возрастаніи скорости. Это явленіе особенно напоминаетъ тѣ коническія волны, которыя производитъ летящая достаточно быстро пуля, и на которыя указалъ Бойсъ, производившій фотографическіе снимки съ пули во время ея полета.

Намъ неизвѣстна скорость, которую можно дать матеріи, и которой было бы достаточно, чтобы увеличить указанное явленіе до громадныхъ размѣровъ. Наиболѣе быстро движущимся тѣломъ является земля, совершающая въ своемъ круговомъ движеніи по 19 миль въ секунду, т. е. имѣющая скорость, въ 60 разъ бо̀льшую скорости пушечнаго ядра; но скорость земли составляетъ лишь $^1/_{10000}$ скорости свѣта, а, слѣдовательно, незаконная, такъ сказать, инерція, обязанная движенію земли по ея орбитѣ, есть только одна сто-милліонная, и даже астрономическая точность не можетъ обнаружить вліянія величины такого порядка.

Есть звѣзды, проходящія по 200 миль въ секунду, но и ихъ скорость составляетъ лишь одну десятую процента скорости свѣта; излишекъ же ихъ инерціи составитъ только одну милліонную. Извѣстно лишь одно мѣсто, гдѣ заряды или заряженная матерія движутся съ большей скоростью: это—разрѣженная трубка. Бьющія катодныя частицы протекаютъ по 20.000 миль въ секунду или имѣютъ одну десятую скорости свѣта. Въ нихъ можетъ быть однопроцентный избытокъ инерціи; онъ могъ бы быть и бо̀льшимъ, еслибы только убѣдиться, что частицы движутся еще скорѣе.

О подобномъ отступленіи при быстромъ движеніи говорилось въ 1896 году на ливерпульскомъ съѣздѣ Британской ассоціаціи; на это было указано мною устно и очень кратко въ секціи А, во время обсужденій вопроса о механизмѣ образованія Х-лучей; я думалъ тогда, что, при внезапной остановкѣ частицъ, онѣ могли бы создать эти лучи, еслибы только достигли бо̀льшихъ скоростей, достаточныхъ для измѣненія статическаго поля; теперь вопросъ этотъ разработанъ гораздо полнѣе. Можно указать не только на «электромагнитную теорію» Хевизайда, гдѣ указаны обстоятельства, сопровождающія вне-

зашную остановку заряженнаго тѣла, движущагося со скоростью свѣта, но и на статью Дж. Дж. Томсона въ февральской книжкѣ Philosophical Magazine 1898 года, гдѣ разрѣшена гораздо болѣе общая проблема.

Приложенія къ части II

C.—Электричество и тяготѣніе

Въ одной изъ моихъ статей, напечатанной въ ноябрѣ 1882 года, мы находимъ основное и существенное соотношеніе между постоянными M магнитнаго полюса и γ кавендишевскаго тяготѣнія:

$$\frac{e^2}{K} = \frac{M^2}{\mu} \quad u = \gamma m^2 = Fl^2$$

гдѣ F означаетъ силу и l—длину.

Если теперь вернуться къ мысли, что масса состоитъ изъ электрическихъ зарядовъ, то можно видѣть, что e и m суть величины какъ бы одной природы, связанныя между собою лишь нѣкоторою численной связью, изъ чего слѣдуетъ, что одного рода и величины K и γ; другими словами, діэлектрическая постоянная Фарадея оказывается тѣсно связанной съ постоянной тяготѣнія Кавендиша, а *вѣсъ*, также какъ и *масса*, обусловливается электричествомъ. Но такая дедукція ненадежна, и нельзя существенно оградить оба рода силъ—тяготѣнія и электрической—отъ различныхъ свойствъ связаннаго съ ними эфира.

Такъ какъ природа тяготѣнія сама по себѣ постоянна, то мы имѣемъ:

$$\gamma = \frac{Fl^2}{m^2} = \frac{l^3}{mt^2} = \frac{v^2}{m/l} = \frac{\text{кв. скорости}}{\text{линейная плотность}} = \frac{\text{энергія/масса}}{\text{масса/длина}}$$

Ясно, что если тяготѣніе въ нѣкоторомъ смыслѣ электрическаго происхожденія, то оно должно быть деформаціей второго порядка, налагающейся на главный электрическій эффектъ и зависящей отъ знака. На самомъ дѣлѣ оно зависитъ отъ e^4, такъ какъ сила тяготѣнія между двумя электронами, находящимися другъ отъ друга въ разстояніи r, будетъ:

$$F_1 = \gamma \frac{m^2}{r^2} = \frac{\gamma}{r^2}\left(\frac{2\rho e^2}{3a}\right)^2$$

Электрическая же сила между тѣми же двумя электронами и въ томъ же разстояніи будетъ:

$$F_2 = \frac{e^2}{Kr^2}$$

Поэтому отношеніе силъ тяготѣнія и электрической въ нѣкоторомъ разстояніи постоянно и равняется:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{4\rho^2 K\gamma}{9a^2} \cdot e^2 = \frac{4\rho\gamma e^2}{9a^2 v^2} = \frac{2\gamma}{v^4} \cdot F_0$$

гдѣ F_0 есть электрическая сила между электронами, находящимися въ соприкосновеніи другъ съ другомъ, а v—скорость свѣта.

Численное отношеніе двухъ этихъ силъ будетъ:

$$\frac{F_1}{F_2} = K\gamma\left(\frac{m}{e}\right)^2 = \frac{1}{9 \times 10^{20} \times 1.5 \times 10^7}\left(\frac{1}{10^7}\right)^2 = 10^{-42}$$

т. е. электрическая сила превосходитъ силу тяготѣнія во столько разъ, во сколько земной шаръ превосходитъ объемъ ультрамикроскопическаго предмета.

Если имѣется нѣкоторый агломератъ электроновъ противоположнаго знака, то ихъ электрическое вліяніе на разстояніи исчезаетъ, а вліянія тяготѣнія просто складываются. Если точно также въ каждомъ изъ двухъ находящихся въ нѣкоторомъ разстояніи тѣлъ сосредоточено по 10^{21} электроновъ, то сила тяготѣнія ихъ другъ къ другу равна электрической силѣ между двумя отдѣльными электронами, помѣщенными въ такомъ же взаимномъ разстояніи.

Въ моемъ докладѣ 1885 года Британской ассоціаціи «Объ

«электролизѣ утверждается слѣдующее. Еслибы изъ миллиграмма воды извлечь противоположныя электричества и сообщить ихъ двумъ сферамъ, находящимся въ одной милѣ разстоянія другъ отъ друга, то эти сферы притягивались бы другъ къ другу съ силою въ 12 тоннъ.

D.—Измѣренія отношенія e/m

Измѣренія величины e/m, обратной величинѣ электрохимическаго эквивалента вещества, можно выразить различными путями. Одинъ изъ нихъ даетъ эту величину въ видѣ нѣкотораго громаднаго числа, кратнаго $\sqrt{(K\gamma)}$, среднему геометрическому изъ діэлектрической постоянной Фарадея и постоянной тяготѣнія Кавендиша. Для водорода это кратное число будетъ порядка 10^{18}, для серебра—10^{16}.

Другой путь получится, если написать:

$$e^2 = KFl^2 = \frac{ml}{\mu}$$

откуда слѣдуетъ, что:

$$\frac{m}{e} = \frac{\mu e}{l} = \sqrt{\left(\frac{\mu m}{l}\right)}$$

и потому e/m можно выразить въ $\sqrt{\left(\frac{\text{сантиметры}}{\mu\ \text{граммы}}\right)}$

Искусственность этихъ измѣреній обусловливается тѣмъ фактомъ, что e и m были измѣрены условно различными путями: m измѣряется отношеніемъ приложенной внѣшней силы къ ускоренію, тогда какъ e—отталкивательной силой, дѣйствующей сама собой на одинаковый зарядъ въ данномъ разстояніи.

Если μ назвать плотностью, то электрохимическій эквивалентъ можно выражать въ граммахъ на квадратный санти-

метръ, т. е., другими словами, его можно трактовать, какъ поверхностную плотность.

Слѣдуетъ замѣтить, что въ то время, какъ $\sqrt{K\mu}$ одинаковаго измѣренія съ $^1/v$, $\sqrt{K\gamma}$ соотвѣтствуетъ $^1/\varepsilon$, гдѣ ε — электрохимическій эквивалентъ.

Часть III

Опредѣленіе скорости и электрохимическаго эквивалента катодныхъ лучей

Наилучшимъ средствомъ для разрѣшенія проблемы относительно скорости катодныхъ лучей служатъ искривленіе той линіи, по которой они распространяются, поперечнымъ магнитнымъ полемъ, и величина, характеризующая ихъ вращеніе, если магнитное поле направлено вдоль нихъ.

Если эта скорость постоянна, а магнитное поле однородно то кривая, въ которую обращается пучокъ катодныхъ лучей, представляетъ собою кругъ; ее нетрудно распознать либо непосредственно, давая ей, по способу Крукса, возможность слегка задѣвать фосфоресцирующее вещество, либо косвеннымъ путемъ, дѣлая свои заключенія изъ наблюденій положенія прямого экрана, помѣщеннаго такимъ образомъ, чтобы на него падали отклоненные лучи.

Слѣдовательно, опредѣленіе радіуса кривизны r не встрѣчаетъ никакихъ затрудненій. Что же касается теоретическихъ разсужденій, то ничего не можетъ быть проще ихъ. Для нихъ надо только принять, что дѣйствующая на элементъ тока eu магнитная сила H будетъ отклоняющей или центростремительной, имѣющей величину $\frac{mu^2}{r}$ и необходимой для опредѣленія механической инерціи частицъ, то есть:

$$\frac{mu^2}{r} = \rho\, eu\, H$$

$$\text{откуда } \left(\frac{m}{e}\right) u = \rho\, r\, H$$

или e/m такъ относится къ скорости частицъ, какъ кривизна ихъ направленія къ интенсивности создающаго ее магнитнаго поля.

Два члена правой части этого уравненія можно измѣрить непосредственно; что же касается величины μ, то ею обыкновенно условно пренебрегаютъ или, лучше сказать, въ H измѣряютъ не интенсивность поля, а его плотность индукціи; неизвѣстны оба члена лѣвой части, а потому, пользуясь однимъ лишь этимъ способомъ, нельзя опредѣлить ни того изъ нихъ, ни другого; нужно либо сдѣлать какое нибудь предположеніе относительно того или другого, либо произвести другой опытъ, независимый отъ перваго.

Если принять, какъ это дѣлаютъ многіе изслѣдователи, что u равна скорости атомовъ, движущихся при обыкновенной температурѣ въ газѣ, то значеніе отношенія e/m не будетъ очень отличаться отъ той же величины, взятой изъ теоріи іоновъ и измѣренной при электролизѣ жидкостей, т. е. отъ 10^4 *с. g. s.* И обратно, если для этого отношенія принять величину, которая должна была бы быть по іоннымъ или электролитическимъ воззрѣніямъ, то скорость катодныхъ лучей окажется совершенно такою же, какъ и присущая матеріальнымъ атомамъ.

Однако это будетъ своего рода передержкой, и такія случайныя совпаденія могутъ весьма серьезно тормозить прогрессъ нашихъ знаній природы и свойствъ катодныхъ лучей, такъ какъ они даютъ нѣкоторое удовлетвореніе уму, рискуя тѣмъ, что занимающіеся люди будутъ воздерживаться отъ дальнѣйшихъ изслѣдованій. Совершенно остеречься отъ нихъ почти невозможно, и ими обыкновенно пользуются до тѣхъ поръ, пока болѣе подробное знакомство съ предметомъ не приведетъ къ своего рода инстинктивному сознанію, что гдѣ-то есть и что-то истинное.

Такъ было и въ настоящемъ случаѣ, когда большая длина свободнаго пути катодныхъ лучей и ихъ способность проникать почти всюду заставляли утверждать, что, конечно, это—не атомы обыкновеннаго вещества. Это истинное положеніе вещей Ленаръ и Круксъ ощущали инстинктивно, несмотря на встрѣченную ими критику ихъ воззрѣній и серьезные аргументы въ пользу другого пути; а въ 1897 году Дж. Дж. Томсонъ повелъ гораздо болѣе серьезную атаку.

Онъ поставилъ свои опыты такимъ образомъ, что магнитъ отклонялъ лучи въ полый изолированный сосудъ, соединенный съ электрометромъ и извѣстной емкостью, благодаря чему общій зарядъ собиравшихся въ данное время частицъ катоднаго луча можно было измѣрить по наблюдавшемуся повышенію потенціала. Онъ поставилъ свой опытъ такъ, что частицы падали на термоэлектрическую пару извѣстной теплоемкости, соединенную очень тонкими проволоками съ гальванометромъ (игравшимъ поэтому роль калориметра); отсюда явилась возможность измѣренія энергіи падающихъ частицъ.

Пользуясь своимъ приспособленіемъ, онъ могъ производить, слѣдующія одновременныя опредѣленія:

$$Ne = Q$$

$$N \tfrac{1}{2} mu^2 = W$$

$$\frac{m}{e} u = \rho H r$$

Въ этихъ трехъ уравненія хъ неизвѣстны четыре количества но два изъ нихъ можно трактовать, какъ отношеніе, а третье N исключить; тогда мы приходимъ къ уравненіямъ:

$$u = \frac{2W}{QHr}$$

$$m/e = \frac{Q}{2W}\left(\rho Hr\right)^2$$

Когда и на самомъ дѣлѣ произведены были въ лабораторіи эти блестящія измѣренія, то атомная природа катодныхъ лучей, если и не пала совершенно, то, во всякомъ случаѣ, стала значительно маловѣроятной; найдено было, что частицы обладаютъ скоростью порядка десяти тысячъ миль въ секунду, что составляетъ даже въ лучшемъ случаѣ 0,1 скорости свѣта, будучи постоянно порядка 10^9 *c. g. s.*; въ то же время электрохимическій эквивалентъ былъ порядка 10^{-7} *c. g. s.*, или составлялъ около 0,001 электрохимическаго эквивалента водорода.

Значенія эти нисколько не мѣнялись ни при измѣненіи рода находящагося въ трубкѣ разрѣженнаго газа, ни при замѣнѣ

однихъ электродовъ другими. *Катодные лучи, очевидно, не зависятъ отъ природы окружающаго ихъ вещества.* Это—фактъ чрезвычайной важности. Во всякомъ случаѣ, если они и матеріальны, то матерія ихъ—нѣкотораго основного характера, независимаго отъ обыкновенныхъ химическихъ различій. Скорость же ихъ зависитъ отъ разности потенціаловъ между электродами, что внушаетъ мысль о томъ, что они дѣйствительно представляютъ собою нѣкоторыя частицы, распространяющіяся подъ вліяніемъ дѣйствующаго вдоль ихъ пути паденія потенціала. Онѣ выбрасывались катодомъ черезъ нѣкоторое отверстіе въ анодѣ, и скорость ихъ измѣрялась въ трубкѣ за послѣднимъ, гдѣ онѣ двигались подъ вліяніемъ собственнаго своего момента. Разстояніе между анодомъ и катодомъ не вліяетъ, а по гипотезѣ, предполагающей существованіе частицъ, и не можетъ вліять на эту скорость: хотя паденіе потенціала круче, если анодъ и катодъ очень сближены между собою, но зато соотвѣтственнымъ образомъ измѣняется и длина пути, на которомъ частицы подвергаются его дѣйствію. Поэтому теоретически, пока разность потенціаловъ остается одинаковой, скорость не зависитъ отъ разстоянія между электродами: она опредѣляется абсолютной величиной разности потенціаловъ. Если же электроды находятся очень близко другъ къ другу, то это обстоятельство можетъ, конечно, затруднить поддержаніе высокой разности потенціаловъ между анодомъ и катодомъ, такъ какъ они могутъ искриться въ другомъ мѣстѣ, а именно внѣ трубки. Если въ трубкѣ много газу, то и это также затруднитъ удержаніе высокой разности потенціаловъ, такъ какъ находящійся въ трубкѣ газъ подъ вліяніемъ катодныхъ лучей становится проводящимъ. Слѣдовательно, наибольшія скорости получаются при высокихъ степеняхъ разрѣженія; а если плотность газа внутри трубки постоянна, то постоянными будутъ и скорости. Вещество электродовъ не дѣлаетъ никакой разницы, если только они не испускаютъ изъ себя какихъ либо газовъ или не затрудняютъ какъ нибудь иначе поддержаніе желаемой разности потенціаловъ.

Хотя скорость частицъ въ катодныхъ лучахъ и оказалась такимъ образомъ чрезвычайно большою, однако энергія ихъ не очень велика, а потому общая ихъ масса крайне ничтожна;

что же касается ихъ общаго электрическаго заряда, то онѣ довольно значителенъ. Онѣ способны въ теченіе одной секунды повысить потенціалъ электрической емкости въ 1,5 микрофарадъ на нѣсколько вольтъ, иногда даже на 20 вольтъ. Въ то же время онѣ могутъ повысить температуру калориметра, теплоемкость котораго равна приблизительно теплоемкости 4 миллиграммовъ воды, на 2^0 С. И при всемъ этомъ масса ихъ такъ мала, что въ теченіе развѣ только сотни лѣтъ ихъ можно было бы собрать достаточное по вѣсу количество, да и то всего лишь на одну тринадцатую миллиграмма. Онѣ движутся со скоростью, во сто тысячъ разъ большею скорости ружейныхъ пуль, и являютъ такимъ образомъ наибольшую скорость, какая только до сихъ поръ наблюдалась и пока извѣстна для матеріи, если только сами онѣ матеріальны; а электрохимическій эквивалентъ, вмѣсто того, чтобы быть въ согласіи съ эквивалентомъ, наблюдающимся въ жидкостяхъ, оказывается въ нѣсколько тысячъ разъ меньше послѣдняго; другими словами, соединенный съ каждой частицей катодныхъ лучей зарядъ, сравнительно съ ея массой, повидимому, въ тысячу разъ больше, чѣмъ зарядъ, находящійся на электролитическомъ іонѣ, хотя бы даже водородномъ.

Если такія движущіяся частицы—дѣйствительно атомы, то нельзя не быть увѣреннымъ, что онѣ необычайно сильно заряжены. Если же, что представляется наиболѣе вѣроятнымъ занимавшимся этимъ предметомъ, зарядъ движущихся частицъ такой же, какъ и зарядъ, которымъ обладаетъ атомъ, участвующій въ электролизѣ, то, полагая, что опыты были сдѣланы и интерпретированы вполнѣ правильно, можно заключить, что соединенная съ іоннымъ зарядомъ масса въ катодныхъ лучахъ должна быть въ тысячу разъ меньше атома водорода. Въ силу этого можно представлять себѣ катодныя частицы въ видѣ отдѣльныхъ, индивидуальныхъ, до сихъ поръ гипотетическихъ электроновъ, представляющихъ собою атомы электричества. Было бы, впрочемъ, очень поспѣшно приходить къ такому широкому заключенію на основаніи такихъ сравнительно узкихъ доказательствъ. Доказательство надо подтвердить въ другихъ отдѣлахъ физики и другими опредѣленіями, имѣющими свое основаніе въ иномъ методѣ; ихъ надо изслѣдовать еще въ свѣтѣ

явленія магнитной радіаціи, наблюдавшагося амстердамскимъ профессоромъ Земаномъ. Мы опишемъ сперва одно опредѣленіе, сдѣланное по другому методу, а затѣмъ нѣсколько поразительныхъ измѣреній относительно явленій, принадлежащихъ какъ будто бы къ другимъ отдѣламъ физики.

Дальнѣйшія измѣренія скорости катодныхъ лучей и отношенія m/e съ помощью электростатическаго отклоненія

Дж.-Дж. Томсонъ пользовался и другимъ, пожалуй, болѣе простымъ методомъ опредѣленія количествъ u и m/e, а именно онъ отклонялъ одни и тѣ же лучи электростатически и магнитно. Вводя внутрь разрѣженной трубки пару вспомогательныхъ электродовъ, одинъ надъ пучкомъ катодныхъ лучей, а другой—подъ нимъ, и соединяя ихъ съ полюсами низковольтной батареи, состоящей, напримѣръ, изъ нѣсколькихъ аккумуляторовъ, онъ получалъ такимъ образомъ вертикальное электростатическое поле, перпендикулярное къ направленію катодныхъ лучей. А перпендикулярное къ этимъ двумъ направленіямъ магнитное поле въ то же время можно было производить либо полюсами помѣщеннаго сбоку трубки магнита, либо силовыми линіями протекающаго вокругъ нея электрическаго тока. Такимъ образомъ электростатическое отклоненіе можно было сравнивать съ отклоненіемъ магнитнымъ или даже нейтрализовать одно изъ нихъ—другимъ.

Заставимъ катодные лучи падать на покрытую фосфоресцирующимъ веществомъ стрѣлку, движущуюся взадъ и впередъ такимъ образомъ, что ея движеніе можно подвергнуть измѣренію; въ этомъ случаѣ нетрудно наблюдать отклоненіе лучей по тому, насколько нужно подвинуть стрѣлку, чтобы на нее упалъ узкій пучокъ лучей, распространяющійся по длинѣ l электрическаго поля напряженія E или магнитнаго интенсивности H.

Если u—первоначальная скорость частицъ луча, движущихся подъ прямыми углами къ обоимъ отклоняющимъ полямъ, то

каждое изъ нихъ будетъ дѣйствовать въ теченіе времени l/u; въ это время въ направленіи, параллельномъ электрической силѣ или перпендикулярномъ къ силѣ магнитной, будетъ создаваться экстра-слагающая w, такъ что величина измѣненія момента каждой частицы будетъ $\frac{mw}{l/u} = Ee$ въ одномъ случаѣ или $= \mu\, Hev$ въ другомъ; поэтому въ одномъ случаѣ отклоненіе будетъ:

$$\Theta = \frac{w}{u} = \frac{e}{m} \cdot \frac{El}{u^2}$$

и въ другомъ:

$$= \frac{e}{m} \cdot \frac{\mu\, Hl}{u}$$

Слѣдовательно, если въ нашихъ опытахъ *приравнять* оба эти отклоненія, то мы приходимъ просто къ равенствамъ:

$$u = \frac{E}{\mu H}; \quad \frac{m}{e} = \frac{l\mu^2 H^2}{\Theta\Sigma}$$

Если этотъ методъ примѣнимъ, то онъ даетъ, повидимому, удивительно точные результаты. Если въ трубкѣ находятся H, CO_2 или воздухъ, то измѣренія дадутъ:

$u = 2$ или 3×10^9 сантиметровъ въ секунду

а также $\frac{m}{e} =$ отъ 1.1 до 1.5×10^{-7} *c. g. s.* единицъ

Главнымъ затрудненіемъ въ такого рода экспериментахъ является тотъ фактъ, что іонизація находящагося въ трубкѣ воздуха дѣлаетъ его на время проводникомъ и такимъ образомъ защищаетъ движущіяся частицы отъ электрическаго вліянія. Поэтому нельзя ручаться за то, что онѣ подвергаются полному дѣйствію электрическаго поля, которое можно приложить къ нимъ; и на самомъ дѣлѣ нелегко заставить ихъ почувствовать хоть нѣкоторую долю этого дѣйствія. Обыкновенно думали, что онѣ не подвергаются вовсе электростатическому дѣйствію, и это часто служило контръ-аргументомъ

противъ того, что катодные лучи представляютъ собою электрически заряженныя частицы; но, къ счастью, Дж.-Дж. Томсонъ скоро догадался, въ чемъ состоитъ причина этого маскированія простого ожидаемаго эффекта, и вполнѣ успѣшно показалъ, что при достаточно высокихъ степеняхъ разрѣженія и другихъ предосторожностяхъ экранирующую іонизированную атмосферу можно удалить и такимъ образомъ произвести количественное наблюденіе электростатическаго отклоненія.

Опредѣленіе электрохимическаго эквивалента въ случаѣ электрической утечки въ ультра-фіолетовомъ свѣтѣ

Величину этого же отношенія $^m/_e$ можно опредѣлить, пользуясь явленіями, кажущимися съ перваго взгляда совершенно отличными отъ тѣхъ, которыя приводились выше.

Однимъ изъ нихъ является разряжающее дѣйствіе ультрафіолетоваго свѣта на полированную металлическую или другую поверхность, заряженную отрицательно. Изслѣдованіе этого явленія начато было Герцемъ, а продолжали его главнымъ образомъ Ричи, а также Эльстеръ и Гейтель. Получается ли ультрафіолетовый свѣтъ отъ искры или пламени, но разъ только онъ падаетъ на наэлектризованную отрицательно поверхность, то, вообще говоря, съ этой послѣдней электричество пропадаетъ, причемъ оно можетъ быть воспринято нѣкоторымъ другимъ тѣломъ, помѣщеннымъ противъ освѣщаемаго. Этимъ-то свойствомъ и можно воспользоваться для измѣренія, заряжая такимъ образомъ электрометръ, емкость котораго извѣстна. Автору настоящей статьи приходилось дѣлать по этому вопросу очень много опытовъ, до сихъ поръ нигдѣ не напечатанныхъ. Недавно Эльстеръ и Гейтель сдѣлали замѣчательное открытіе, показавъ, что, пользуясь магнитомъ, можно въ зависимости отъ направленія силовыхъ линій измѣнить такъ или иначе степень утечки. Явленіе это навело на мысль о магнитномъ отклоненіи линій утечки, представляющихъ собою, какъ это показалъ Ричи, нѣкоторыя вполнѣ опредѣленныя траекторіи, и привело къ заклю-

ченію, что утечка обусловливается существующимъ въ дѣйствительности движеніемъ отрицательно заряженныхъ частичекъ, аналогичныхъ катоднымъ лучамъ. Для наблюденія этого явленія вовсе нѣтъ надобности въ разрѣженномъ пространствѣ, въ которомъ однако оно болѣе замѣтно и можетъ быть подвергнуто болѣе точному измѣренію. Явленіе это отличается отъ происходящаго въ разрѣженной трубкѣ тѣмъ, что для него не требуется большой электродвижущей силы, и что, соотвѣтственно этому, оно и не даетъ ничего, имѣющаго характеръ прерывистаго разряда: утечки нѣтъ вовсе до тѣхъ поръ, пока, вѣроятно, синхронныя колебанія ультра-фіолетоваго свѣта не приведутъ молекулы въ колебательное состояніе и не ослабятъ потому связей отрицательнаго заряда или нѣсколькихъ отрицательно заряженныхъ корпускуловъ (тѣлецъ).

Для того, чтобы частицы оторвались отъ пластинки, необходимо выполненіе двухъ условій: онѣ должны быть ослаблены ультра-фіолетовымъ свѣтомъ (рѣшающее вліяніе имѣетъ направленіе поляризаціи этого свѣта), а поверхность, на которой онѣ находятся, должна быть наэлектризована отрицательно, дабы имѣть возможность оттолкнуть ихъ отъ себя. Ни свѣтъ, ни электризація сами по себѣ произвести этого явленія не могутъ: для него необходимо совмѣстное ихъ дѣйствіе.

Дж.-Дж. Томсону пришла въ голову остроумнѣйшая мысль воспользоваться этимъ опытомъ для измѣреній и для вывода изъ него электрохимическаго эквивалента заряженныхъ частицъ, т. е., другими словами, количества содержащейся въ каждой изъ нихъ матеріи сравнительно съ находящимся на ней зарядомъ. Съ этою цѣлью онъ устроилъ очень простой приборъ, состоящій изъ небольшой отрицательно заряженной пластинки, на которую черезъ кварцъ, а затѣмъ черезъ соединенную съ электрометромъ металлическую сѣтку падалъ ультра-фіолетовый свѣтъ, исходившій отъ расположенной невдалекѣ отъ прибора дуговой лампы. Разстояніе между цинковой пластинкой и металлической сѣткой могло измѣняться, а самый опытъ состоялъ въ наблюденіи количества электричества, переходившаго подъ вліяніемъ свѣта съ отрицательно заряженной пластинки на сѣтку. Сперва наблюденія эти производились при обыкновенныхъ условіяхъ, а затѣмъ въ присутствіи магнитнаго поля опредѣленной интен-

сивности, приложеннаго къ пространству между пластинкой и сѣткой.

Весьма простое, но необычайно изящное вычисленіе показало ему, что подъ вліяніемъ магнитнаго поля частицы должны двигаться по циклоидамъ, производящіе круги которыхъ содержатъ не только отношеніе m/e, но и E/H^2. Другими словами, еслибы можно было наблюдать ихъ траекторію, то она заключала бы въ себѣ и электрохимическій эквивалентъ, а также и отношеніе электрическаго поля къ магнитному, равно какъ и абсолютное значеніе интенсивности этого послѣдняго.

Рис. 1

Вычисленіе это настолько просто, что его можно привести здѣсь.

Пусть рисунокъ 1 представляетъ собою поставленныя другъ противъ друга пластинку и сѣтку, съ градіентомъ потенціала между ними $E = \frac{(V - V')}{d}$; пусть къ нимъ, нормально къ плоскости рисунка, будетъ приложено магнитное поле H.

Если обѣ поверхности находятся въ разрѣженномъ пространствѣ, то есть, если между ними нѣтъ никакой оказывающей сопротивленіе среды, то движеніе заряженныхъ частицъ отъ пластинки въ промежутокъ между нею и сѣткой выразится равенствами

$$\begin{cases} m\ddot{x} = Ee - He\dot{y} \\ m\ddot{y} = He\dot{x} \end{cases}$$

причемъ всѣ начальныя значенія x, y, $\dot{x}$ и $\dot{y}$ суть нули.

Рѣшеніе при такихъ начальныхъ условіяхъ этихъ уравненій есть

$$\left.\begin{aligned} x &= a(1 - \cos bt) \\ y &= a(bt - \sin bt) \end{aligned}\right\}, \text{ гдѣ } a = \frac{E}{H^2} \cdot \frac{m}{e} \text{ и } b = H \cdot \frac{e}{m}$$

Отсюда уже мы видимъ, что x мѣняется періодически отъ O до $2a$ и обратно, а y періодически же увеличивается за про-

межутокъ времени $\frac{2\pi}{b}$ на величину $2\pi a$. Другими словами, эти уравненія представляютъ собою уравненія циклоиды, вычерчиваемой нѣкоторою точкой, взятой на кругѣ радіуса a, катящемся по цинковой пластинкѣ.

Это — совершенно невидимая, чисто-теоретическая траекторія. Но разъ мы понимаемъ, что, согласно нашей теоріи, всѣ движущіяся частицы движутся именно въ такомъ направленіи, то намъ ясно, что должно существовать нѣкоторое критическое разстояніе, при которомъ сѣтка принимаетъ и перехватываетъ всѣ частицы, и за которымъ до нея не дойдетъ ни одна изъ нихъ. На рисункѣ сѣтка изображена пунктирной линіей, и притомъ какъ разъ за критическимъ разстояніемъ, благодаря чему на нее не попадетъ ни одна частица, какъ бы ни была велика яркость падающаго на пластинку свѣта. Но если-бы уменьшить разстояніе, отдѣляющее сѣтку отъ пластинки, увеличить силу электрическаго поля или ослабить магнитное, то въ результатѣ сѣтка воспринимала бы весь зарядъ этихъ частичекъ, протекающихъ по гипотетическомъ циклоидамъ. Критическое разстояніе, при которомъ это имѣетъ мѣсто, можно безъ труда опредѣлить экспериментально: оно не зависитъ отъ яркости ультра-фіолетоваго свѣта и равно діаметру производящаго циклоиду круга. Другими словами, если зарядъ переносится съ пластинки на сѣтку, то критическое разстояніе должно быть равно $2a$ или $\frac{2mE}{eH^2}$, каковое количество съ помощью этого остроумнаго приспособленія легко можетъ быть измѣрено. Поэтому, разъ извѣстны E и H, то можно опредѣлить въ данномъ случаѣ чисто-экспериментально и отношеніе m/e. Приборъ, которымъ пользовались для этой цѣли, изображенъ на рис. 2.

Оказалось, что чувствительность экспериментальнаго наблюденія была не такъ велика, какъ можно было думать объ этомъ на основаніи простой теоріи; причинъ тому было нѣсколько, а одна изъ нихъ заключалась въ присутствіи въ приборѣ остаточнаго воздуха, дѣлавшаго свободные пути движущихся тѣлъ меньшими, чѣмъ они были бы безъ него. Тѣмъ не менѣе для приблизительнаго опредѣленія этотъ методъ до-

статочно чувствителенъ; и въ этомъ случаѣ опять таки отношеніе e/m оказалось равнымъ 10^7 *c. g. s.* или, точнѣе, 7×10^6, вполнѣ сходясь съ найденными Дж.-Дж. Томсономъ и подтвержденными затѣмъ Ленаромъ и Кауфманомъ значеніями для частицъ катодныхъ лучей.

Другимъ явленіемъ, на которомъ были произведены такія же измѣренія, послужилъ разрядъ электричества съ помѣщенной въ атмосферѣ водорода раскаленной угольной нити. Эльстеръ и Гейтель показали, что магнитное поле производитъ нѣкоторыя измѣненія и въ этомъ явленіи. Рядъ измѣреній, подобныхъ въ общихъ чертахъ предыдущимъ, показалъ, что отношеніе e/m равно $8{,}7 \times 10^6$ *c. g. s.* Величина эта, будучи одного порядка съ предыдущею, въ тысячу разъ больше, чѣмъ электрохимическое или электролитическое значеніе для водорода, и въ нѣсколько тысячъ разъ больше того же значенія для другихъ веществъ, но она всегда постоянна и не зависитъ отъ природы вещества.

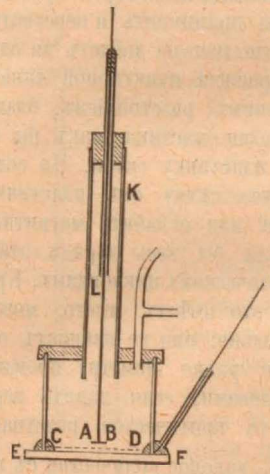


Рис. 2

AB—изолированная цинковая пластинка; CD—сѣтка; EF—кварцевая пластинка. Источникъ ультра-фіолетоваго свѣта находится внизу; сосудъ можно наполнять любымъ газомъ и разрѣжать.

Обыкновенное электролитическое значеніе этого отношенія даютъ только носители положительнаго заряда. Наблюдать ихъ не такъ легко, но Винъ изслѣдовалъ и ихъ, обнаруживъ и подвергнувъ измѣренію небольшое отклоненіе магнитомъ открытыхъ Гольдштейномъ и названныхъ имъ закатодными (Kanal-Strahlen) лучей, находящихся въ разрѣженной трубкѣ позади катода и представляющихъ собою, какъ это показалъ Эверсъ, носителей положительнаго электричества. Винъ показалъ, что движеніе ихъ медленно, что въ водородѣ порядокъ ихъ отно-

шенія e/m есть 10^4, т. е. одинаковъ со значеніемъ, извѣстнымъ для атома или іона водорода. Для другихъ веществъ было найдено, что отношеніе это мѣняется вмѣстѣ съ веществомъ и приблизительно равно электролитическому значенію для этихъ положительно заряженныхъ частичекъ. Дж.-Дж. Томсонъ произвелъ измѣренія также и надъ носителями положительныхъ зарядовъ. Онъ пользовался съ этой цѣлью разрядомъ электричества съ накаленныхъ нитей и другихъ положительно наэлектризованныхъ нагрѣтыхъ тѣлъ. Его измѣренія подтвердили результаты, найденные Виномъ.

Такимъ образомъ сильно соблазнительною становится мысль, что въ то время, какъ носителями положительнаго электричества являются іоны, состоящіе изъ соединенной съ атомомъ единицы положительнаго заряда, носители электричества отрицательнаго оказываются разобщенными отъ общей массы этого атома, какъ еслибы они были его отдѣльными составными частями, которыя, оторвавшись отъ него, могутъ достигать въ своемъ свободномъ движеніи громадныхъ скоростей. Ускоренія, которымъ они подвержены, въ тысячу разъ превосходятъ то, которое испытываетъ даже атомъ водорода отъ силы тяжести.

Какова же должна быть подвижность частицъ, на которыя дѣйствуетъ обыкновенное ускореніе силы тяжести g, и которыя несутъ на себѣ массу въ 1000 разъ меньше? Такая подвижная частица, какъ та, которую мы сейчасъ разсматриваемъ, прошла бы въ первую секунду не 16 футовъ, какъ дѣлаетъ это у поверхности всякое тѣло, но 16.000 футовъ или три мили. Въ одну секунду подъ вліяніемъ тяжести она пріобрѣла бы скорость шести миль въ секунду, почти достаточную для того, чтобы вывести ее изъ предѣловъ притяженія земли, и болѣе чѣмъ достаточную для того, чтобы протащить ее вокругъ свѣта.

Ускореніе, которому подвержены въ разрѣженной трубкѣ такія частицы, далеко больше даже и этого,—до такой степени громадны силы. Сила тяжести, дѣйствующая на іоны, почти безконечно мала въ сравненіи съ обыкновенными электрическими силами, дѣйствующими на ихъ заряды. Предположимъ, напримѣръ, что онѣ находятся въ легко достигаемомъ въ разрѣженной трубкѣ полѣ въ 3.000 вольтъ на сантиметръ, или

имѣютъ 10 электростатическихъ единицъ Сила, заставляющая въ такомъ случаѣ двигаться одного изъ носителей электричества, есть $10 \times 10^{-10} = 10^{-9}$ динъ, а такъ какъ движущаяся масса, разъ это носитель положительнаго электричества въ атмосферѣ водорода, имѣетъ только 10^{-24} грамма, то дѣйствующее въ секунду ускореніе составляетъ 10^{15} сантиметровъ въ секунду, т. е. превосходитъ g въ билліонъ разъ. Еслибы это былъ носитель отрицательнаго заряда въ какой либо атмосферѣ, то ускореніе его было бы больше еще въ тысячу разъ.

Скорость, пріобрѣтаемая при прохожденіи подъ вліяніемъ этой силы разстоянія въ пять сантиметровъ, получается нахожденіемъ квадратнаго корня изъ $2fh$; другими словами, для положительнаго носителя она составляетъ 10^8 сантиметровъ и для отрицательнаго 3×10^9 сантиметровъ въ секунду. Таковъ и есть приблизительно порядокъ величинъ, наблюдаемыхъ въ дѣйствительности.

Такимъ образомъ все болѣе и болѣе находитъ себѣ оправданіе гипотеза, по которой такія единицы электрическаго заряда могутъ существовать въ отдѣльности. Быть можетъ, онѣ несутъ съ собою часть атома, имѣя въ такомъ случаѣ право на названіе корпускуловъ, содержащихъ матеріальное ядрышко; а, быть можетъ, онѣ представляютъ собою лишенное всякой тѣлесной оболочки электричество, соотвѣтствуя такимъ образомъ тѣмъ гипотетическимъ сущностямъ, которыя трактуются теоретически и математически, какъ «электроны».

Приложеніе къ части III

E.—Электрическое насыщеніе и пр.

Въ сдѣланномъ мною въ 1885 году докладѣ Британской ассоціаціи объ электролизѣ я обратилъ вниманіе на возможность того, что атомная теорія дастъ максимальный зарядъ, возможный на данной поверхности. Максимальная поверхностная

плотность достигается, когда каждый атомъ поляризованъ такимъ образомъ, что его атомный зарядъ обращенъ наружу. Если на квадратный сантиметръ приходится 10^{16} атомовъ, а зарядъ на каждомъ изъ нихъ равенъ 10^{-10}, то возможная максимальная поверхностная плотность составляетъ 10^6 электростатическихъ единицъ на квадратный сантиметръ. Соотвѣтствующій градіентъ потенціала будетъ равенъ $4\pi\sigma = 10^7$ или 3.000 мегавольтамъ на сантиметръ; что же касается натяженія въ этомъ случаѣ, то оно составитъ $2\pi\sigma^2 = 6 \times 10^{12}$ *c. g. s.* = 40.000 тоннъ на квадратный дюймъ. Давленія этого, конечно, не выдержитъ діэлектрикъ, а выдержать его можетъ абсолютная пустота.

На практикѣ поэтому выходитъ, что, когда поверхность сильно заряжена, то поляризованнымъ является лишь крайне малое процентное число молекулъ, которыхъ заряды обращены наружу. Такъ, напримѣръ, обыкновенный воздухъ разрушается, когда натяженіе достигаетъ $2\pi\sigma^2 = {}^1/_2$ грамма = 400 *c. g. s.* на квадратный сантиметръ, почему максимальное значеніе въ обыкновенномъ воздухѣ есть 8 электростатическихъ единицъ на квадратный сантиметръ. Это же количество достигается обращеніемъ наружу 10^{11} молекулъ или одной изъ каждыхъ ста тысячъ на твердой поверхности, или же одной десятой процента ихъ въ воздухѣ.

Въ вышеупомянутомъ своемъ докладѣ объ электролизѣ я показалъ, что для преодолѣнія атомнаго притяженія и для начала разложенія въ жидкостяхъ достаточно градіента потенціала порядка 1 вольта на молекулярное разстояніе. Всякая проводящая жидкость направляетъ всю приложенную къ ней силу на нѣкоторый молекулярный слой, смежный съ электродомъ, а потому въ такой жидкости для разложенія необходимо и достаточно величины порядка одного или двухъ вольтъ разности потенціаловъ между электродами.

Часть IV

Электронная теорія проводимости и радіаціи

Вѣроятность существованія электроновъ и возможность смотрѣть на нихъ, какъ на основаніе всѣхъ электрическихъ явленій и множества другихъ матеріальнаго характера, поразили силу воображенія нѣкоторыхъ физико-математиковъ, съ д-ромъ Лярморомъ и профессоромъ Лорентцомъ во главѣ. Оба эти ученые стали стараться приписать всѣ электрическія свойства различнымъ дѣйствіямъ электроновъ, само собой разумѣется, въ связи съ вещественными атомами. Д-ръ Лярморъ съ успѣхомъ продолжалъ разработку своихъ попытокъ и придумалъ возможный родъ структуры эфира, составныя части котораго обладали бы свойствами электрона, положительнаго или отрицательнаго; такимъ образомъ онъ бо̀льшую часть физики свелъ къ простѣйшимъ способамъ изображенія. Эта блестящая попытка не была однако успѣшной до самаго конца, но въ статьяхъ д-ра Лярмора, помѣщенныхъ въ «Трудахъ Королевскаго Общества» («Transactions of Royal Society»), а также въ его новѣйшей работѣ «Эфиръ и матерія» («Ether and Matter»), представляющей собою сводку всѣхъ предыдущихъ его трудовъ, можно найти немало матеріала, наводящаго на множество размышленій. Эта послѣдняя работа, напечатанная кембриджскимъ университетомъ, по простотѣ пониманія доступна каждому. Здѣсь достаточно будетъ сказать, что электронъ представляетъ собою основаніе цѣлаго ученія, по которому предполагается, что нѣтъ электрическаго тока внѣ находящихся въ движеніи электроновъ. Они могутъ двигаться вмѣстѣ съ атомами, какъ въ электролизѣ; они могутъ течь сами по себѣ,

какъ въ газахъ; они могутъ переходить съ одного неподвижнаго атома на другой, расположенный рядомъ съ первымъ, какъ въ твердыхъ тѣлахъ.

Проводимость

Возможны три рода проводимости или передачи электричества, одинъ изъ которыхъ я назову способомъ перелетающихъ зеренъ (the bird-seed method), другой—способомъ ядеръ (the bullet m.) и третій—способомъ пожарныхъ ведеръ (the fire bucket m.).

Первый изъ нихъ имѣетъ мѣсто въ жидкостяхъ и подтверждается электролизомъ: какъ бы птица несетъ съ собою зерно и садится только тогда, когда достигнетъ электрода.

Второй бываетъ въ газахъ и вполнѣ ясно обнаруживается съ помощью катодныхъ лучей: пространство отъ катода до анода представляетъ собою длину между казенной частью и жерломъ пушки, а остальной путь аналогиченъ траекторіи ядра, которое или летитъ до конца, или задерживается мишенью, обнаруживая блестящій свѣтъ либо другія соотвѣтственныя пертурбаціи.

Третій способъ относится къ проводимости такого рода, которая имѣетъ мѣсто въ твердыхъ тѣлахъ, гдѣ атомы не обладаютъ способностью перемѣнять свое мѣсто и могутъ только передавать электроны изъ рукъ въ руки. Колеблясь немного въ одну сторону, чтобы получить ихъ, и въ другую, чтобы отдать, атомы понемногу приходятъ въ то состояніе вибраціи, которое называется теплотою. Но можно наблюдать, что по мѣрѣ того, какъ тѣло подвергается все менѣе и менѣе неправильной молекулярной пертурбаціи, называемой теплотою, все менѣе и менѣе необходимой становится и надобность въ движеніи для обмѣна электронами. Проводимости препятствуютъ, быть можетъ, молекулярное расширеніе и отдѣленіе молекулъ другъ отъ друга, либо безпорядочное сталкиваніе однѣхъ молекулъ съ другими. Несомнѣнно только, что съ пониженіемъ тем-

пературы проводимость улучшается, становясь вполнѣ хорошей при температурахъ очень низкихъ. Проводимость однородныхъ сплавовъ есть нѣчто менѣе простое, такъ какъ она, вѣроятно, комбинируется съ обратной электродвижущей силой, развиваемой безчисленнымъ множествомъ паръ. Поучительно было бы изслѣдовать вліяніе низкихъ температуръ на металлы, не сжимающіеся отъ холода. Особенно хорошая проводимость горячихъ электролитовъ представляетъ собою совершенно иное явленіе: это—не настоящая проводимость, а конвекціонная перемѣна іонами своего мѣста въ той средѣ, гдѣ они находятся.

Металлы представляютъ собою тѣла, въ которыхъ передача электрона отъ одного атома къ другому совершается очень легко, такъ какъ, разъ процессъ не ускоряется, онъ не требуетъ особой силы; этотъ процессъ одной природы съ процессомъ *диффузіи*. Въ изоляторахъ онъ можетъ имѣть мѣсто лишь въ сопровожденіи нѣкоторой силы. Передача вибрацій теплового характера вдоль ряда соединенныхъ между собою молекулъ происходитъ, конечно, не иначе, какъ чрезъ перемѣщеніе электроновъ. Слѣдовательно, хотя электропроводность и теплопроводность въ дѣйствительности—и различные процессы, однако онѣ могутъ имѣть и нѣкоторыя общія точки.

Болѣе или менѣе хорошо знакомы проводимость электролитическая и проводимость въ газахъ. Что касается послѣдней, то отрицательные электроны движутся скоро и свободно, а положительные движутся медленно, такъ какъ имѣютъ нѣкоторое сходство съ матеріей.

Въ процессѣ проводимости въ жидкостяхъ сродство съ атомами имѣютъ оба рода электроновъ и лишь, какъ іоны, переходятъ съ одного мѣста на другое съ относительно малою скоростью, которая хорошо извѣстна благодаря вычисленіямъ Кольрауша и наблюденіямъ моимъ и другихъ экспериментаторовъ.

Степень передачи въ твердыхъ тѣлахъ можетъ быть только выведена, и какъ будто бы въ одномъ классѣ тѣлъ особенно скоро движутся положительные электроны, а въ другомъ—отрицательные, каковое различіе имѣетъ мѣсто и въ жидкостяхъ. Такъ, напримѣръ, въ кислотахъ гораздо быстрѣе перемѣщаются положительные заряды, имѣющіе сродство съ водо-

родомъ in statu nascendi. То обстоятельство, что кислоты— вообще хорошіе проводники, и объясняется сравнительно легкимъ переходомъ атомовъ водорода въ вышеуказанномъ состояніи.

Магнитное явленіе Холля, какъ и магнитное вращеніе Фарадея суть результаты разныхъ скоростей зарядовъ; еслибы скорости были одинаковы, явленія эти свелись бы къ нулю. Въ газахъ эта разница очень велика; отрицательные заряды въ нихъ настолько свободнѣе положительныхъ, и переносятся они до такой степени быстрѣе послѣднихъ, что явленіе Холля въ газахъ, особенно въ газахъ разрѣженныхъ, очень велико по сравненію съ тѣми незначительными явленіями этого рода, которыя найдены въ жидкостяхъ и твердыхъ тѣлахъ.

Радіація

Мы должны разсмотрѣть не только движеніе впередъ или перемѣну мѣста того, что носитъ электрическій характеръ и принадлежитъ атому,—намъ надо также принять, что подобная часть атома подвержена движенію въ самомъ атомѣ, либо вибрируя на подобіе шарика калейдофона, либо обращаясь по ничтожно-малой орбитѣ, какъ бы вродѣ спутника атома. Способность къ радіаціи дѣйствительно обязана своимъ происхожденіемъ подобнымъ вибраціямъ или обращеніямъ въ атомѣ. Сама по себѣ матерія не имѣетъ замѣтной связи съ эфиромъ, каковой фактъ доказанъ мною въ моей статьѣ, помѣщенной въ «Philosophical Transactions» за 1893 и 1897 годы. Нѣкоторую связь даетъ ей электрическій зарядъ, но и въ этомъ даже случаѣ мы не видимъ, такъ сказать, вязкой (viscous) связи; вѣдь нельзя же называть связью то, что зависитъ отъ скорости и носитъ такой же характеръ, какъ треніе, а наша связь—чисто-ускорительнаго характера. Если же зарядъ вибрируетъ, то въ періодѣ ускоренія онъ можетъ оказывать нѣкоторое вліяніе на эфиръ и обращать его въ волны, представляющія собою тотъ родъ движенія, который хорошо извѣстенъ намъ подъ именемъ радіаціи. Пертурбаціи въ эфирѣ производитъ не

самъ пульсирующій атомъ, какъ цѣлое, а пульсаціи или вибраціи, ускоренія, замедленія или обращенія его электрическаго заряда. Производящимъ эффектъ и дѣйствующимъ измѣненіемъ скорости и является нормальное или центростремительное ускореніе, заключающее въ себѣ не что иное, какъ измѣненіе направленія. Если электрическій зарядъ можетъ описывать ничтожно-малую орбиту четыреста билліоновъ разъ въ секунду, то онъ будетъ испускать самые медленные видимые красные лучи. Если же зарядъ вибрируетъ скорѣе, онъ испускаетъ свѣтъ большей преломляемости. Особый родъ испускаемыхъ атомомъ лучей зависитъ отъ періода обращенія его электроновъ по орбитѣ, такъ что каждой частотѣ вибраціи соотвѣтствуетъ опредѣленная линія спектра.

А если это такъ, то радіація должна быть подвержена магнитному вліянію, такъ какъ обращающійся электрическій зарядъ образуетъ собою круговой токъ. Если же такой токъ переплетается съ линіями возникающаго магнитнаго поля, то измѣненіе интенсивности послѣдняго должно служить причиною увеличенія или уменьшенія скорости обращенія заряда по орбитѣ, что повлечетъ за собою измѣненіе въ ту или иную сторону преломляемости. Если поэтому магнитное поле возникаетъ наряду съ обращеніемъ электроновъ въ томъ или иномъ направленіи, то такое движеніе однихъ изъ нихъ ускоряется, другихъ замедляется, что и бываетъ до тѣхъ поръ, пока не будетъ уничтожено магнитное поле.

Казалось бы поэтому, что если источникъ радіаціи попадаетъ въ магнитное поле, а принадлежащія ей линіи подвергаются спектроскопическому изслѣдованію, то онѣ должны удвоиться, такъ какъ преломляемость однѣхъ изъ нихъ становится большею, другихъ — меньшею; если какія нибудь линіи не измѣняются, то общее число ихъ утроивается, а разъ движеніе имѣетъ болѣе сложный характеръ, то линій можетъ стать больше въ четыре, шесть разъ. Въ зависимости отъ характера и большей или меньшей сложности движенія происходитъ то или другое измѣненіе. Въ иныхъ случаяхъ дѣйствіе магнитнаго поля можетъ отозваться только на уширеніи линій. Случилось однако такъ, что, когда д-ръ Лярморъ пришелъ къ этому теоретически и сдѣлалъ въ 1895 году нѣкоторыя вычисленія,

чтобы посмотрѣть, какого эффекта можно ожидать, онъ предположилъ, конечно, не то, что электронъ можетъ двигаться въ сравнительно неподвижномъ атомѣ, какъ это было описано выше, а что самъ атомъ пульсируетъ, обращается и движется въ различныхъ направленіяхъ, какъ цѣлое, неся съ собою свой зарядъ. Сдѣлавъ такое предположеніе и зная приблизительно размѣръ атома, онъ рѣшилъ, что эффектъ былъ бы слишкомъ ничтоженъ, чтобы его можно было видѣть. Нѣсколько лѣтъ назадъ Фарадей, не изъ теоретическихъ соображеній, а просто изъ желанія перепробовать различные эксперименты, пытался увидать и такое явленіе. Это ему не удалось, а потому и д-ръ Лярморъ не сдѣлалъ новой экспериментальной попытки изслѣдованія настоящаго вопроса. Предположенія его не были нигдѣ напечатаны, пока наконецъ Земанъ изъ Амстердама не сдѣлалъ въ 1897 году, пользуясь роуландовской рѣшоткой и сильнымъ электромагнитомъ, прекраснаго наблюденія явленія, состоящаго въ уширеніи линій, испускаемыхъ натровымъ пламенемъ, помѣщеннымъ между полюсами магнита. Лишь тогда д-ръ Лярморъ написалъ мнѣ, что это, по всей вѣроятности, то явленіе, котораго онъ ожидалъ, но относительно котораго думалъ, что оно слишкомъ ничтожно, чтобы его можно было видѣть. Получивъ его указаніе, я тотчасъ же съ нѣкоторымъ трепетомъ повторилъ опытъ, убѣдился въ его правильности и показалъ его въ Королевскомъ Обществѣ на майскомъ вечернемъ собраніи того же года.

Когда было положено это простое, но важное начало, то, не говоря уже о Земанѣ, вопросъ о вліяніи магнитнаго поля на радіаціи различныхъ веществъ сталъ подробно разрабатываться Престономъ въ Дублинѣ, Михельсономъ—въ Америкѣ и другими, причемъ былъ открытъ цѣлый рядъ важныхъ фактовъ. Каждая линія была изучена отдѣльно. Нѣкоторыя линіи учетверялись, нѣкоторыя утроивались, нѣкоторыя ушестерялись и такъ далѣе, какъ сказано выше. Одна линія ртути обращается въ одиннадцать составляющихъ. Явленіе поэтому *не* слишкомъ ничтожно, чтобы его нельзя было видѣть, хотя для обнаруженія его нужны крайне сильный магнитъ и нѣкоторыя усовершенствованныя приспособленія. Такимъ образомъ становится очевиднымъ, что если радіація обязана движущимся электро-

намъ, то движеніе ихъ не могло бы имѣть мѣста, еслибы было очень много матеріи, которая соединена и движется вмѣстѣ съ ними. Становится возможнымъ опредѣленіе въ нѣкоторомъ данномъ случаѣ количества соединенной съ обращающимся электрическимъ зарядомъ матеріи съ помощью измѣренія того удвоиванія, которое вызывается линіями магнитнаго поля; другими словами, можно сдѣлать опредѣленіе дѣйствующаго въ радіаціи электрохимическаго эквивалента, т. е. отношенія e/m. И дѣйствительно, на рѣдкость талантливо сдѣлалъ профессоръ Земанъ въ круглыхъ числахъ подобное опредѣленіе, сдѣлалъ его еще тогда, когда ему было извѣстно лишь явленіе крайне незначительнаго уширенія натровыхъ линій. Онъ пришелъ къ заключенію, что этотъ электрохимическій эквивалентъ сильно отличается отъ электрохимическаго эквивалента, свойственнаго электролизу, будучи меньше этого послѣдняго въ нѣсколько тысячъ разъ. Онъ нашелъ, что отношеніе e/m имѣетъ въ этомъ случаѣ замѣтную величину, о которой уже подозрѣвалось, что она находится въ связи съ катодными лучами. Величина эта есть 10^7 *c. g. s.*

Позднѣйшія измѣренія этой величины подтвердили его опредѣленіе и показали, что отношеніе заряда къ матеріи въ явленіи Земана практически тожественно съ тѣмъ же отношеніемъ въ явленіи катодныхъ лучей; другими словами, если катодные лучи состоятъ изъ движущихся электроновъ, то радіацію обусловливаютъ собою ихъ вибраціи или обращенія по орбитамъ.

Но и въ этомъ нѣтъ еще доказательства существованія массъ, гораздо меньшихъ, чѣмъ атомъ; здѣсь можетъ быть одно только замѣчательное совпаденіе. Съ другой же стороны возможно, что во всѣхъ этихъ случаяхъ въ концѣ концовъ движется и самъ атомъ, но что его электрическій зарядъ представляетъ собою нѣчто въ тысячу разъ большее, чѣмъ то, что считали такимъ зарядомъ раньше.

Предположеніе это, невѣроятное даже и для катодныхъ лучей, становится гораздо менѣе правдоподобнымъ въ случаѣ радіаціи, гдѣ нѣтъ ничего неестественнаго въ томъ, что должна быть въ движеніи только очень малая часть атома, въ то время какъ большой объемъ его практически неподвиженъ. Съ

другой же стороны, чѣмъ больше изучаются подробности явленія Земана, тѣмъ становится яснѣе, что принятая для него прежде всего Лоренцомъ, Фитцджеральдомъ и Лярморомъ электронная теорія полна и удовлетворительна.

Я одинъ изъ первыхъ въ Англіи напечаталъ въ *Electrician* за февраль и мартъ 1897 года двѣ статьи какъ о самомъ фактѣ, такъ и объ его элементарной теоріи. Въ статьяхъ этихъ содержится то, что относится къ идеямъ о данномъ предметѣ, еще только зарождавшимся, но не получившимъ тогда большого значенія. Нѣкоторое затрудненіе представляла высокая величина отношенія e/m, а именно $^1/_2 . 10^7$ *c. g. s.*, т. е. пятьдесятъ милліоновъ кулоновъ на граммъ, вмѣсто небольшой электролитической величины. Я намекалъ въ этихъ статьяхъ и на предполагавшіяся Фитцджеральдомъ примѣненія къ явленію Земана началъ электронной теоріи. Теорія движенія была выражена мною очень кратко въ слѣдующей формѣ:

Разсмотримъ нѣкоторое движеніе по орбитѣ, спроектированное на плоскость, нормальную къ приложенному магнитному полю H, и означимъ черезъ ω угловую скорость въ нѣкоторой точкѣ, гдѣ радіусъ кривизны есть r. Въ такомъ случаѣ радіальная составляющая поля будетъ:

$$\pm \mu e \; H \; r \; \omega$$

которая представитъ увеличеніе или уменьшеніе центростремительной силы

$$d \; (m \; r \; \omega^2)$$

откуда съ первымъ приближеніемъ слѣдуетъ, что

$$d \, \omega = \pm \frac{\mu \, eH}{2m}$$

а измѣненіе частоты, производимое намагничиваніемъ, поэтому будетъ:

$$\pm \frac{\mu \, eH}{4\pi m}$$

Другая составляющая орбиты, очевидно, не будетъ измѣняться. Это, конечно, далеко отъ полной удовлетворительной

теоріи и показываетъ развѣ только то, что тѣмъ не менѣе спроектированное движеніе можетъ быть круговымъ. Но вѣдь эта была первая краткая попытка.

Электронная теорія намагниченія свѣта

Немногое изъ того, что болѣе или менѣе давно было сдѣлано въ теоріи движущихся зарядовъ, достойно большаго вниманія, чѣмъ сдѣланное д-ромъ Джонстономъ Стонеемъ въ связи съ процессомъ радіаціи, задолго до какого либо экспериментальнаго подтвержденія существованія въ отдѣльности этихъ электроновъ и того факта, что испусканіе тѣмъ или инымъ веществомъ свѣта обязано его движенію. Др. Стоней трактовалъ электроны еще въ 1891 году астрономически, полагая, что они движутся вокругъ атома, какъ спутники вокругъ планеты, и разсуждая о различныхъ пертурбаціяхъ, которымъ они могутъ подвергаться, и о вліяніи этихъ пертурбацій на спектръ испускаемаго ими свѣта.

Однимъ изъ простѣйшихъ видовъ пертурбаціи является прецессія апсидовъ, состоящая въ медленномъ поворачиваніи орбиты въ собственной своей плоскости. Было показано, что такое движеніе можетъ привести къ появленію въ спектрѣ раздвоенія, такъ какъ изъ двухъ составляющихъ вибрацій, на которыя можно разложить движеніе, одна становится болѣе быстрой, а потому преломляемость испускаемаго ею свѣта увеличивается, другая же дѣлается болѣе медленной, что влечетъ за собой уменьшеніе преломляемости.

Результатомъ другого рода пертурбацій, тѣсно связаннаго съ первымъ и аналогичнаго въ случаѣ земли предваренію равноденствій, могла бы явиться тройная линія въ спектрѣ. Это прецессіальное движеніе бываетъ въ орбитѣ, подверженной нѣкоторой наклонной или отклоняющей силѣ. Дѣйствіе такой силы сказывается въ томъ, что ось описываетъ конусъ, каковое движеніе можно наблюдать на наклоненной оси вращающагося волчка. Сила тяжести не заставляетъ волчокъ падать, а вызываетъ въ немъ прецессію. То же наблюдается и въ обручѣ

или велосипедѣ, если только они не вертикальны. Вмѣсто того, чтобы упасть, они во все время своего движенія обращаются по кругу и падаютъ только по прекращеніи движенія. Слѣдовательно, если орбита электрона подвергается наклонной или отклоняющей силѣ, то дѣйствіе этой послѣдней выразится въ прецессіи, а вовсе не въ непосредственномъ перемѣщеніи плоскости орбиты въ желаемое положеніе, перпендикулярное къ линіи силы. Такое движеніе можно разложить на три другихъ: на вышеупомянутыя ускореніе и замедленіе круговой орбиты, результатомъ чего появляется удвоенная линія, и на третью составляющую, параллельную оси, которая не измѣнилась бы и потому дала спектральную линію на прежнемъ мѣстѣ, составляя центръ группы изъ трехъ линій. Все это было ясно понято Лярморомъ и Фитцджеральдомъ въ связи съ открытіемъ Земана, хотя ихъ предупредилъ его великій соотечественникъ, уважаемый физикъ Лоренцъ, напечатавшій очень полную теорію, во многихъ отношеніяхъ предварившую экспериментальные результаты. Можно было бы видѣть, что весь свѣтъ, испускаемый вышеупомянутыми составляющими колебанія, будетъ одного опредѣленнаго рода, обусловливаемаго вибраціями въ нѣкоторомъ опредѣленномъ направленіи, а потому и поляризованнаго. Родъ поляризаціи зависѣлъ бы отъ положенія, съ котораго смотрѣть. Еслибы смотрѣть подъ прямымъ угломъ къ оси прецессіи, то всѣ три линіи были бы плоско-поляризованными, причемъ плоскость поляризаціи средней была бы перпендикулярна къ двумъ другимъ плоскостямъ. А еслибы смотрѣть по направленію оси прецессіи, то средней линіи не было бы вовсе, а двѣ боковыя линіи оказались бы поляризованными по кругу.

Когда Земанъ показалъ тотъ фактъ, что магнитное поле, приложенное къ источнику свѣта, можетъ производить нѣкоторую замѣтную пертурбацію, профессоръ Лоренцъ могъ сразу предсказать все, о чемъ сказано выше: утроеніе линіи, если смотрѣть сбоку по отношенію къ силовымъ линіямъ, и удвоеніе ея, если смотрѣть вдоль нихъ; онъ предсказалъ и всѣ роды поляризаціи, которые были разсмотрѣны выше, потому что магнитныя силовыя линіи и представляютъ собою ось прецессіи.

Вскорѣ затѣмъ Земанъ и другіе увидѣли всѣ эти явленія, характерныя для самой простой круговой орбиты.

Съ перваго взгляда легко склоняешься къ предположенію, что орбиты круглы и, подобно круговымъ токамъ, устанавливаются нормально къ силовымъ линіямъ, но этому мѣшаетъ инерція движущагося электрона. Очевидно, что, пока обращающійся электронъ образуетъ круговой токъ, у него будетъ стремленіе размѣститься такъ, чтобы плоскость его орбиты была перпендикулярна къ силовымъ линіямъ; а такъ какъ, по гипотезѣ, электронъ обладаетъ инерціей, то токъ не устанавливается такимъ образомъ, а, подобно волчку, подвергается косвеннымъ образомъ отклоняющей силѣ. Явленіе это аналогично съ тѣмъ, что, по объясненію Ньютономъ въ его «Principia», ось вращенія сплюснутой земли имѣетъ коническое движеніе вокругъ силовыхъ линій, движеніе, называемое въ случаѣ земли предвареніемъ равноденствій, а въ случаѣ обладающаго радіаціей атома—явленіемъ Земана.

Вотъ главная сущность явленія Земана. Мы разсмотрѣли самыя основныя измѣненія, производимыя въ источникѣ радіаціи магнитнымъ полемъ. Но вѣдь еще могутъ быть и нѣсколько меньшія измѣненія, аналогичныя тому, что имѣется налицо и у земли, обладающей не только прецессіей, но и нутаціей — нѣкоторымъ вибрирующимъ движеніемъ, налагающимся на движеніе главное. Такимъ образомъ вполнѣ возможно, что не только средняя линія или двѣ крайнія, но даже и всѣ три удвоятся. Престонъ видѣлъ и сфотографировалъ явленія, въ которыхъ линій становилось больше не только въ три, а и въ четыре, пять и даже шесть разъ.

Даже двѣ составныя части двойной натріевой линіи реагируютъ неодинаково: одна изъ нихъ, а именно D_2, кажется сперва только расширившейся, а на самомъ дѣлѣ она даетъ шесть отдѣльныхъ линій; другая же, D_1, учетверяется. Полное изученіе всего, что происходитъ подъ вліяніемъ магнетизма во всѣхъ линіяхъ и группахъ линій, представляемыхъ различными веществами, сильно расширяетъ наши познанія во многихъ направленіяхъ. Врядъ ли мы ошибемся, сказавъ, что открытіе Земана, освѣщаемое теоріей Лоренца, увеличило значеніе спектральнаго анализа вдвое, проливъ свѣтъ на процессы

радіаціи и свойства атомовъ, и открыло новую отрасль знанія, своего рода атомную астрономію съ атомами и электронами вмѣсто планетъ и спутниковъ.

Приложенія къ части IV

F—Величина орбиты производящаго радіацію электрона

Разсмотримъ два электрона противоположнаго знака, обращающихся другъ около друга въ разстояніи d, n разъ въ секунду, т. е. съ частотою свѣта; или разсмотримъ лучше свободный отрицательный электронъ, обращающійся въ разстояніи d вокругъ равнаго ему, сравнительно неподвижнаго положительнаго заряда.

Сила между ними есть $\frac{e^2}{Kd^2}$, а слѣдовательно, ускореніе—

$$\frac{e^2}{Kd^2} \cdot \frac{3a}{2\rho e^2} = \frac{3av^2}{2d^2}$$

Но ускореніе можно выразить также черезъ $4\pi^2 n^2 d$; а потому

$$d^3 = \frac{3av^2}{8\pi^2 n^2} = \frac{3a\lambda^2}{8\pi^2} = \frac{3\times 10^{-13}}{80}\left(6\times 10^{-5}\right)^2 = 10^{-23}$$

что выражаетъ собою «третій законъ Кеплера» и указываетъ что разстояніе, при которомъ достигается частота свѣта n, есть атомное разстояніе въ 10^{-8} сант.; другими словами, электронъ носится надъ поверхностью атома. Еслибы онъ подошелъ ближе къ центру силы, онъ обращался бы скорѣе; а такія быстрыя колебанія могутъ возбуждаться между двумя внутренними электронами вслѣдствіе толчковъ, столкновеній или другихъ пертурбацій.

Самое важное въ вышеприведенномъ вычисленіи, это—что оно соотвѣтствуетъ гипотезѣ, что вся масса электрона—элек-

трическая, и что ни одна его часть—не матеріальная. Это показываетъ, что самъ электронъ можетъ обращаться въ разстояніяхъ молекулярнаго порядка съ частотою свѣта. Квадратъ испускаемой длины волны соразмѣренъ съ кубомъ радіуса-вектора, если только центръ силы находится въ плоскости орбиты. Впрочемъ, движеніе можетъ быть меньшей амплитуды, аналогичнымъ движенію коническаго маятника.

G—Сила радіаціи обращающагося электрона

Разсмотримъ электронъ, обращающійся, какъ и раньше, по орбитѣ, имѣющей атомныя измѣренія d, съ частотою свѣта n, и вычислимъ его силу радіаціи.

Основное выраженіе величины энергіи, испускаемой въ эфирѣ въ секунду въ видѣ волнъ при движеніи заряда e, было дано Лярморомъ въ его книгѣ «Эфиръ и матерія» въ такой формѣ:

$$\frac{2\mu e^2}{3v}\, w^2$$

гдѣ w есть ускореніе, а μe^2, по новѣйшимъ измѣреніямъ, равно 10^{-40} граммъ-сант. Въ круговой же орбитѣ радіуса d ускореніе есть

$$w = \left(2\pi\, n\right)^2 d = 40\, \left(5 \times 10^{14}\right)^2 . 10^{-8} = 10^{23}\ c.\ g.\ s.$$

Поэтому сила радіаціи движущагося такимъ образомъ отдѣльнаго электрона есть

$$\frac{2\mu\ e^2}{3v}\, d^2\, \left(2\pi\, n\right)^4 = \frac{2 \times 10^{-40}}{9 \times 10^{10}} \times 10^{46} =$$

$$= 2 \times 10^{-5}\ \text{эрговъ въ секунду.}$$

Вся же полезная энергія, которою обладаетъ обращающійся электронъ линейныхъ измѣреній a, есть только

$$\frac{\mu\ e^2}{3a}\, \dot{u}^2 = \frac{\mu\ e^2}{3a}\, \left(2\pi\, .\, nd\right)^2$$

Эта кинетическая его энергія выражается числомъ

$$\frac{10^{-40}}{3 \times 10^{-13}} \left(2\pi \times 5 \times 10^{14} \times 10^{-8}\right)^2 = 3 \times 10^{-13} \text{ эрговъ}$$

причемъ скорость составляетъ 3×10^{-7} сант. въ секунду, или одну тысячную скорости свѣта. Такимъ образомъ, еслибы электронъ былъ лишенъ какой бы то ни было вспомогательной энергіи, и еслибы онъ могъ сохранить свой, такъ сказать, аллюръ, то при этихъ условіяхъ онъ излучилъ бы всю свою кинетическую энергію въ теченіе 10^{-8} секундъ, т. е. за три-четыре милліона обращеній. Это можетъ обнаружиться въ быстромъ охлажденіи, что и неудивительно для изолированнаго атома при красномъ каленіи.

Отношеніе силы радіаціи отдѣльнаго электрона ко всей его свѣтовой энергіи мы можемъ выразить дробью

$$\frac{2a}{v}\left(\frac{w}{u}\right)^2 = \frac{2a}{v}\left(2\pi n\right)^2 = 8\pi^2 n \frac{a}{\lambda} =$$

$$= 70 \text{ милліоновъ въ секунду.}$$

Въ какомъ либо большомъ собраніи атомовъ радіація происходитъ не такъ свободно и безпрепятственно. Всегда надо обращать вниманіе на нѣчто подобное частотѣ свѣта, и радіація будетъ пропорціональна четвертой степени этой частоты. При частотѣ, испускающей волны, въ десять разъ болѣе длинныя, чѣмъ волны свѣта, сила радіаціи обращающагося электрона составляетъ только одну десятитысячную долю силы, вычисленной выше. Во всякомъ случаѣ, надо помнить, что дѣйствительно всѣ вещества могутъ обладать радіаціей; при обычной температурѣ поглощенія бываетъ обыкновенно достаточно, чтобы компенсировать потери.

Громадная скорость движущагося по орбитѣ электрона заставляетъ, по словамъ Лярмора, предполагать, что если онъ сойдетъ почему либо со своей траекторіи, то будетъ двигаться съ такою же скоростью по касательной къ ней; большую скорость частицъ, образующихъ потокъ катодныхъ лучей, онъ и приписываетъ скорѣе этому обстоятельству, чѣмъ импульсу, обусловливаемому величиною потенціала.

Мнѣ же представляется болѣе вѣроятнымъ, что скорость движенія по орбитѣ служитъ на пользу только тѣмъ электронамъ, которые сами собой выходятъ изъ нѣкоторыхъ веществъ, обладающихъ той или иной степенью радіоактивности; заряженными же поверхностями, обладающими дѣйствительно силою, толкающею впередъ, электроны могутъ выбрасываться со скоростью, болѣе близкою къ скорости свѣта, а быстрое возрастаніе инерціи при подобныхъ скоростяхъ служитъ гарантіей того, что въ дѣйствительности онѣ никогда не будутъ достигнуты.

Н—Пророческая номенклатура Фарадея

Люди, знакомые съ біографіей Фарадея, знаютъ, что, когда онъ, въ погонѣ за тайнами природы, производилъ рѣшительныя и настойчивыя экспериментальныя изслѣдованія, никогда не приводившія его къ отрицательному результату, и ему удалось открыть вращеніе плоскости поляризаціи магнитнымъ полемъ, приложеннымъ къ плотнымъ тѣламъ, въ которыхъ распространялся свѣтъ вдоль силовыхъ линій, — онъ назвалъ въ порывѣ энтузіазма это свое открытіе «намагничиваніемъ свѣта и освѣщеніемъ магнитныхъ силовыхъ линій», каковое названіе долгое время оставалось непонятнымъ его современникамъ.

Трудно сказать, какой смыслъ придавалъ онъ своимъ словамъ; въ теченіе многихъ лѣтъ они казались какимъ-то непослѣдовательнымъ, фальшивымъ названіемъ указывающимъ на туманное пониманіе авторомъ собственнаго своего открытія.

Врядъ ли его уму представлялся данный вопросъ во всей его ясности, но, вѣроятно, онъ съ бо́льшимъ удовольствіемъ защищалъ бы свой блестящій способъ пониманія этого явленія, чѣмъ призналъ бы себя виновнымъ; хотя, сведенное на одно только вращеніе плоскости поляризаціи, явленіе это и казалось многимъ математикамъ и физикамъ не имѣющимъ большого интереса, тѣмъ не менѣе ему оно всегда особенно нравилось. Никогда не надо забывать, что лордъ Кельвинъ и Клеркъ Максвелль всегда думали, что открытое Фарадеемъ явленіе представляетъ собою громадный интересъ; оно легло,

нѣсколько лѣтъ спустя, въ основаніе началъ развитія Максвеллемъ электромагнитной теоріи свѣта.

И какъ удивляютъ насъ эти названія теперь! Не указываютъ ли они на какую-то совершенно безсознательную глубину мысли, которая часто проявляется у великаго изслѣдователя въ энтузіазмѣ передъ своимъ открытіемъ? Вспомнимъ только, что явленія Холля, Земана, сѣверное сіяніе и вращеніе Фарадея — все это тѣсно связываетъ между собой электронная теорія.

Въ трубкѣ для полученія катодныхъ лучей движущіеся электроны отклоняются поперечнымъ магнитнымъ полемъ; а если они распространяются вдоль линій, то вращаются вокругъ нихъ по спиралямъ. Въ сѣверномъ сіяніи это явленіе имѣетъ мѣсто въ гигантскихъ размѣрахъ въ верхнихъ слояхъ атмосферы, и «силовыя линіи земного магнетизма освѣщаются» электронами, исходящими отъ солнца и солнцемъ направляемыми. Въ явленіи Холля то же вліяніе сказывается въ переходѣ отъ одного атома къ другому, ближайшему, множества медленно движущихся электроновъ, причемъ переходъ этотъ обусловливаетъ собою нѣкоторое искривленіе пути, въ которомъ имѣютъ преимущество либо положительные электроны, либо отрицательные. Та же причина дѣйствуетъ и на обращающіеся или вибрирующіе электроны, связанные въ явленіи Земана съ атомомъ, испускающимъ радіаціи и служащимъ источникомъ свѣта. Здѣсь источникъ свѣта непосредственно намагничивается, а явленіе, обнаруживаемое спектральнымъ анализомъ, вызывается и поддерживается испускаемымъ имъ свѣтомъ, благодаря чему мы и можемъ вполнѣ свободно говорить, что «свѣтъ намагниченъ».

Своимъ открытіемъ вращенія магнитомъ плоскости поляризаціи въ ту или другую сторону, въ зависимости отъ того, подвергаются ли большему вліянію въ веществѣ положительные или отрицательные электроны, Фарадей далъ первое указаніе на связь магнитизма со свѣтомъ, лежащую въ основаніи всѣхъ этихъ, съ перваго взгляда различныхъ, явленій.

Поэтому на данное имъ своему открытію названіе «освѣщеніе магнитныхъ силовыхъ линій и намагничиваніе свѣта» можно смотрѣть, какъ на пророческій проблескъ генія.

А развѣ не подобный же проблескъ былъ у Крукса, когда онъ утверждалъ, что въ катодныхъ лучахъ мы имѣемъ нѣчто вродѣ корпускулярнаго свѣта, нѣчто вродѣ матеріи въ четвертомъ состояніи, не твердомъ, не жидкомъ и не газообразномъ? Вполнѣ ли это вѣрно или нѣтъ, а все же онъ былъ далеко болѣе правъ, чѣмъ его критики, осмѣливавшіеся подвергать его смѣянію.

Часть V

Опредѣленіе массы электрона

Всѣ приведенныя до сихъ поръ измѣренія представляютъ собою результатъ нашихъ свѣдѣній о величинѣ e/m для проводимости въ газахъ и радіаціи. Измѣренія, производившіяся надъ катодными лучами въ круксовой трубкѣ или близь пластинки, находящейся подъ вліяніемъ ультра-фіолетоваго свѣта, познакомили насъ также и съ ихъ скоростью, показавъ, что она, въ зависимости отъ обстоятельствъ, можетъ быть немного больше или меньше одной тридцатой скорости свѣта. Но пока еще не было произведено опредѣленій величинъ e или m въ отдѣльности. Сдѣлать ихъ очень трудно, такъ какъ для этого намъ приходится имѣть дѣло съ нѣкоторымъ агрегатомъ громаднаго и неизвѣстнаго числа подобныхъ тѣлъ. Нетрудно было бы опредѣлить величину массы цѣлаго ряда частицъ, скажемъ—Nm частицъ, гдѣ N есть число всѣхъ тѣлецъ, падающихъ въ данное время на данную поверхность; эта величина можетъ быть опредѣлена изъ количества теплоты, производимой ихъ ударами, либо, еще, быть можетъ, лучше, изъ момента, сообщаемаго ими особому подвижному приспособленію на подобіе баллистическаго маятника, при условіи, что скорость ихъ u извѣстна, что и имѣетъ мѣсто въ данномъ случаѣ. Такимъ образомъ можно было бы найти общую энергію $\frac{1}{2}Nmu^2$ или общій моментъ Nmu; но какъ отдѣлить m отъ N?

Если, съ другой стороны, всѣ частицы находятся въ поломъ сосудѣ, соединенномъ съ электрометромъ, емкость котораго извѣстна, то совсѣмъ нетрудно опредѣлить полное количество электричества, находящагося въ данное время въ этомъ

сосудѣ, то есть, иначе говоря, найти величину Ne; но какъ опять таки отграничить e отъ N?

Мы можемъ разсматривать слѣдующія величины, опредѣленныя экспериментальными изслѣдованіями, производившимися въ Кавендишевской и другихъ лабораторіяхъ и уже описанными нами:

$$e/m$$
$$u$$
$$Ne$$
$$Nm$$

Объ измѣреніяхъ этихъ величинъ для случая катодныхъ лучей см. выше, часть III.

Сравнительно легко опредѣлить также, особенно въ случаяхъ вродѣ утечки съ отрицательной поверхности подъ дѣйствіемъ ультра-фіолетоваго свѣта электричества или проводимости воздуха, находящагося подъ вліяніемъ рентгеновскихъ лучей, весь передающійся токъ, т. е. величину Neu, представляющую собою количество электричества, уходящаго въ теченіе одной секунды. Измѣренія этого количества производились цѣлымъ рядомъ ученыхъ.

Измѣреніемъ скорости особенно много занимался профессоръ Зеленый. Примѣнявшійся имъ методъ заключался въ томъ, что онъ отгонялъ частицы назадъ посредствомъ вдуваемаго въ трубку вѣтра и наблюдалъ силу того воздушнаго потока, который былъ въ состояніи противодѣйствовать ихъ движенію впередъ; измѣренія его вполнѣ удовлетворительно подтвердили результаты, найденные Томсономъ и Рутерфордомъ менѣе непосредственнымъ путемъ.

Еслибы теперь можно было только сосчитать корпускулы или электроны, опредѣлить то число ихъ N, въ которомъ они зарождаются, входятъ въ полый сосудъ или принимаютъ участіе въ распространеніи тока въ случаѣ утечки подъ дѣйствіемъ ультра-фіолетоваго свѣта, то намъ не пришлось бы уже догадываться о дѣйствительномъ значеніи e и m въ отдѣльности, а мы могли бы опредѣлить ихъ и на самомъ дѣлѣ.

Такое-то блестящее изслѣдованіе и было произведено профессоромъ Дж. Дж. Томсономъ, воспользовавшимся методомъ,

обязаннымъ отчасти мистеру Вильсону, дополнившимъ явленіе, открытое Айткеномъ и объясняемое въ духѣ гидродинамической теоремы, данной нѣсколько лѣтъ назадъ сэромъ Джорджемъ Стоксомъ.

Я долженъ извиниться за свое, быть можетъ, нѣсколько восторженное отношеніе къ данному предмету, но онъ мнѣ кажется самымъ блестящимъ изъ всего, что внесено въ экспериментальную физику за послѣднее время.

Вопросъ этотъ слишкомъ широкъ, и потому я раздѣлю свою о немъ рѣчь на нѣсколько главъ.

Айткенъ и ядрышки, образующія облака

Джонъ Айткенъ былъ первымъ, открывшимъ въ 1880 году въ Эдинбургѣ, что безъ твердыхъ ядрышекъ не могутъ образоваться шарики, дающіе облака или туманъ, т. е. что въ совершенно ясной и свободной отъ пыли атмосферѣ водяные пары не сгущаются и не образуютъ тумана.

Въ ясномъ пространствѣ, лишенномъ твердыхъ поверхностей, пары могутъ быть пересыщенными; введеніе же въ него твердаго ядрышка тотчасъ же влечетъ за собою ихъ сгущеніе; а въ зависимости отъ числа такихъ ядрышекъ или центровъ сгущенія и образуется то или иное число облачныхъ шариковъ.

Каждый шарикъ, входящій въ составъ облака или тумана, представляетъ собою, въ сущности говоря, очень маленькую дождевую каплю, которая вовсе не плаваетъ въ атмосферѣ, но падаетъ сквозь нее; благодаря своему незначительному вѣсу и представляемому средой сопротивленію, она падаетъ очень медленно, но все же относительно атмосферы она находится въ состояніи паденія. Воздушный потокъ легко увлекаетъ за собою облако, но происходитъ это только потому, что скорость движенія воздуха больше скорости паденія сквозь него капель. Движеніе атмосферы не мѣшаетъ движенію падающихъ капель; абсолютное движеніе послѣднихъ по направленію къ земной поверхности представляетъ собою результатъ двухъ движеній.

Необходимость для осажденія тумана присутствія ядрышекъ можно доказать фильтрованіемъ воздуха черезъ обыкновенную

вату, послѣ чего окажется, что ядрышекъ будетъ меньше, и туманъ станетъ другого вида. Онъ будетъ представлять собою то, что мы называемъ шотландскимъ туманомъ, образующимся въ чрезвычайно ясной атмосферѣ, гдѣ сравнительно немного пыльныхъ частицъ, немного потому и центровъ сгущенія, вслѣдствіе чего каждый изъ нихъ сгущаетъ довольно значительное количество пара, а капли становятся больше и находятся не въ такомъ близкомъ другъ отъ друга разстояніи. Онѣ падаютъ поэтому быстрѣе, на подобіе очень мелкаго дождя. Въ совершенно чистомъ, тщательно профильтрованномъ воздухѣ роса можетъ появляться безъ всякаго сгущенія паровъ, и пространство будетъ оставаться совершенно прозрачнымъ, несмотря на то, что находящіеся въ немъ пары будутъ пересыщенными.

Причина этого явленія и необходимость существованія ядрышекъ хорошо извѣстна съ точки зрѣнія данной лордомъ Кельвиномъ теоріи искривленія поверхности, дающей явленіе поверхностнаго натяженія; чѣмъ больше кривизна жидкой поверхности, тѣмъ легче испаряется жидкость, а при безконечно выпуклой поверхности жидкость тотчасъ же обращается въ пары. Поэтому безконечно-малаго жидкаго шарика не можетъ и существовать; паръ можетъ сгущаться только на поверхности конечной кривизны, каковую представляетъ собою пылинка или другое тѣло, состоящее изъ большого числа атомовъ. Не надо забывать, что отдѣльное зернышко ликоподіевой пыли содержитъ около трилліона атомовъ. Пылинка же, могущая сгущать пары, должна состоять не болѣе, чѣмъ изъ билліона, а то и милліона атомовъ, и вовсе не должна быть такой величины, чтобы ее можно было видѣть. Она однако достаточно велика для того, чтобы ее можно было задержать посредствомъ обыкновеннаго фильтра, приготовленнаго изъ простой ваты.

Дж. Дж. Томсонъ и электрическія ядрышки

Въ своей книгѣ «Приложеніе динамики къ физикѣ и химіи» Дж. Дж. Томсонъ еще въ 1888 году показалъ, что

электризація тѣла отчасти нейтрализуетъ явленіе кривизны и такимъ образомъ способствуетъ сгущенію паровъ на выпуклой поверхности.

Разсмотримъ каплю жидкости или мыльный пузырь. Выпуклость поверхности даетъ радіальную составляющую поверхностнаго натяженія, направленную внутрь и потому увеличивающую давленіе внутри. Электризація же дѣйствуетъ какъ разъ наоборотъ, создавая составляющую давленія, направленную наружу и извѣстную подъ именемъ электрическаго натяженія.

Посмотримъ, какъ эти величины зависятъ отъ размѣровъ.

Радіальная составляющая давленія поверхностнаго натяженія T есть

$$\frac{2T}{r} \text{ внутрь.}$$

Электрическое же давленіе выразится такъ:

$$2\pi K\sigma^2 = \frac{e^2}{8\pi Kr^4} \text{ наружу.}$$

Размѣры шарика дѣйствуютъ поэтому на обѣ эти величины различно; слѣдовательно, при нѣкоторомъ его объемѣ должно быть достигнуто равновѣсіе, и тогда наэлектризованная выпуклая поверхность будетъ по своему дѣйствію тожественна съ поверхностью ненаэлектризованной, но плоской, а потому паръ, не конденсирующійся на обыкновенной выпуклой поверхности, станетъ сгущаться на той же поверхности, разъ она будетъ наэлектризована.

Критическую величину, при которой іонные заряды будутъ дѣйствовать на водяную сферу такъ, что она какъ бы становится плоской, можно вычислить, приравнявъ другъ къ другу значенія обѣихъ приведенныхъ выше составляющихъ, т. е.

$$\frac{2T}{r} = \frac{e^2}{8\pi Kr^4}$$

$$\text{или } r^3 = \frac{e^2}{16\pi KT} = \frac{10^{-21}}{50 \times 80} = \frac{1}{4} \times 10^{-24} \text{ куб. см.}$$

откуда приблизительно $r = 10^{-8}$, что находится въ предѣлахъ атомныхъ измѣреній.

Итакъ, *іоны* могутъ сгущать пары, а нѣчто меньшее, обладающее такимъ же зарядомъ, сгущаетъ ихъ еще легче.

Поэтому во влажномъ воздухѣ электроны, казалось бы, не могутъ существовать изолированно, но должны быть связаны съ матеріальными массами хотя бы атомныхъ измѣреній.

Соотвѣтственно этому, всякій электрическій зарядъ помогаетъ пару сгущаться, а зарядъ достаточной величины можетъ быть причиною его сгущенія на совсѣмъ небольшомъ тѣлѣ,— на такомъ даже, какъ атомъ, или еще меньшемъ. Слѣдовательно, въ присутствіи наэлектризованныхъ іоновъ или электроновъ вовсе не нужны для сгущенія паровъ частицы пыли; паръ можетъ сгущаться на этихъ электрическихъ ядрышкахъ, не нуждаясь для того въ твердыхъ тѣлахъ конечной кривизны. Электрическихъ ядрышекъ нельзя фильтровать черезъ вату; они будутъ существовать и могутъ появляться въ воздухѣ, лишенномъ пыли. Конечно, если они проходятъ черезъ металлическую сѣтку, то число ихъ уменьшается, но имъ нелегко освободиться иначе, какъ путемъ собственной своей диффузіи, которая въ концѣ концовъ даетъ имъ возможность уходить попарно или переноситься на стѣнки сосуда. Легче всего однако освободиться имъ, если электролизовать воздухъ, т. е. если, другими словами, поставить электроды, поддерживая на нихъ разность потенціаловъ въ нѣсколько вольтъ. Въ такомъ случаѣ ядрышки будутъ передвигаться впередъ, какъ въ электролизѣ, только съ гораздо большею скоростью, потому что ихъ движеніе будетъ встрѣчать меньшее сопротивленіе. Такимъ путемъ они будутъ быстро переходить на надлежащіе электроды и не могутъ, вѣроятно, въ этомъ случаѣ образовать тумана.

Если пространство насыщено паромъ, то въ присутствіи значительнаго числа іоновъ или электроновъ образуется густой туманъ, но вслѣдствіе легкаго сгущенія въ видѣ дождя, образованіе котораго можно наблюдать вокругъ нѣсколькихъ остаточныхъ пыльныхъ частичекъ, туманъ этотъ бываетъ разнаго вида. Образующіе туманъ шарики обыкновенно бываютъ одной величины, которую можно въ грубыхъ чертахъ опредѣлить съ помощью диффракціонныхъ цвѣтовъ, появляющихся въ томъ

случаѣ, если смотрѣть черезъ туманъ на свѣтящуюся точку. Впрочемъ, такой способъ опредѣленія не заслуживаетъ большого довѣрія.

Причины возникновенія электрическихъ ядрышекъ весьма разнообразны и кроются въ чемъ-то такомъ, что заставляетъ воздухъ диссоціировать и наполняетъ его іонами. Иногда ихъ образуютъ водяныя брызги и пѣна; иногда же они ведутъ свое происхожденіе отъ пламени и тѣлъ, подвергнутыхъ красному каленію. Они образуются въ большомъ количествѣ при прохожденіи черезъ воздухъ рентгеновскихъ лучей; ихъ могутъ создавать радіоактивныя вещества, вродѣ урана; легко испускаетъ ихъ и металлическая отрицательно заряженная поверхность при дѣйствіи на нее ультра-фіолетоваго свѣта.

Вильсонъ и измѣреніе сгущенія водяныхъ паровъ

Занимаясь въ Кавендишевской лабораторіи вопросомъ объ образованіи облачности подъ дѣйствіемъ рентгеновскихъ лучей и другими способами, Вильсонъ придумалъ приспособленіе для осажденія опредѣленнаго и извѣстнаго количества водяныхъ паровъ въ видимой формѣ. Оно было устроено такъ, что могло производить внезапное или адіабатическое расширеніе насыщенной парами атмосферы, подвергавшееся весьма тщательному измѣренію. Употреблявшійся для этого приборъ изображенъ на рис. 3.

Внутри сосуда C находится подвижная пробирка P, играющая роль поршня, который съ помощью особаго приспособленія можетъ внезапно опускаться внизъ и производить такимъ образомъ небольшое измѣряемое разрѣженіе резервуара, содержащаго изслѣдуемый газъ; этотъ послѣдній насыщенъ парами, и въ немъ находятся электрическія ядрышки. Сейчасъ же образуется туманъ, и, какъ обыкновенно, начинаютъ медленно падать капли. Вильсонъ пытался опредѣлить по цвѣту ихъ размѣры, но это оказалось труднымъ и неудовлетворительнымъ. Еслибы были извѣстны размѣры капель, то извѣстно было бы и число ихъ, такъ какъ опредѣленное измѣренное разрѣженіе

производитъ опредѣленное пониженіе температуры ниже точки росы, что влечетъ за собою сгущеніе опредѣленнаго количества

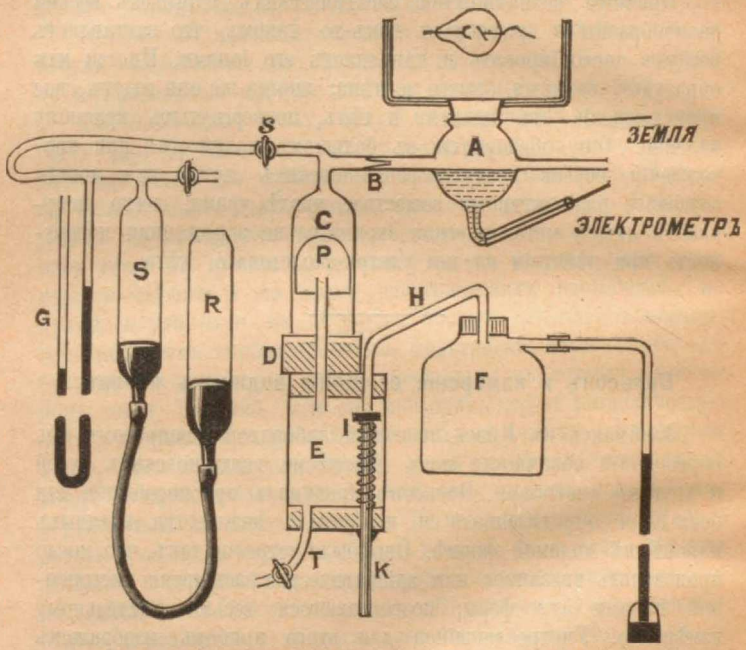


Рис. 3

А—сосудъ, гдѣ образуется туманъ, скорость осѣданія котораго измѣряется по методу Вильсона, употреблявшемуся имъ для іонизаціи Х-лучами. Сосудъ А, содержащій небольшое количество воды, посредствомъ трубки В сообщается съ сосудомъ С, внутри котораго находится тонкостѣнная пробирка Р, служащая поршнемъ. D—каучуковая пробка, затыкающая конецъ трубки С. Внутренность пробирки Р соединена стеклянной трубкой съ пространствомъ Е. Послѣднее же при посредствѣ трубки Н можно приводить въ сообщеніе съ разрѣженнымъ пространствомъ F. Конецъ трубки Н внутри пространства Е расплющенъ и заткнутъ каучуковой пробкой I, прижимаемой къ трубкѣ Н спиральной пружиной. Пробка I прикрѣплена къ стержню К. При быстромъ опусканіи этого стержня давленіе внутри пробирки понижается, и поршень Р быстро падаетъ, пока не ударится о каучуковую пробку D. Паденіе поршня заставляетъ находящійся въ А газъ расшириться. Трубки R и S служатъ для регулированія расширенія. Кранъ S запирается передъ расширеніемъ, а поршень Р поднимается посредствомъ воздуха, дуваемаго черезъ Т. Затѣмъ, когда все готово, К оттягивается, и въ А образуется облако.

водяныхъ паровъ, распредѣляющееся равномѣрно по всему пространству.

Дж. Дж. Томсону пришло въ голову, что лучше опредѣлять размѣры капель, наблюдая скорость ихъ паденія, что не представляетъ особыхъ затрудненій, разъ, будучи одинаковыхъ размѣровъ, всѣ онѣ падаютъ вмѣстѣ. Паденіе ихъ очень удобно наблюдать въ туманѣ, содержащемся въ сосудѣ, имѣющемъ видъ колокольчика: по мѣрѣ опусканія нижнихъ слоевъ, постепенно проясняется пространство, занимающее верхнюю часть сосуда и становящееся все болѣе и болѣе широкимъ. Скорость движенія облака дастъ скорость паденія отдѣльныхъ, составляющихъ его, шариковъ. Теперь мы можемъ перейти къ слѣдующей главѣ.

Проф. Стоксъ и падающія сферы

Много лѣтъ назадъ, еще въ 1849 году, сэръ Джорджъ Стоксъ занимался вопросомъ о движеніи твердыхъ тѣлъ въ жидкостяхъ и въ частности—о движеніи въ вязкой жидкости сферы, находящейся подъ дѣйствіемъ собственной своей тяжести. Замѣчателенъ фактъ, что большія тѣла падаютъ въ воздухѣ, водѣ или другой, представляющей извѣстное сопротивленіе, средѣ скорѣе, чѣмъ такія же тѣла, но меньшихъ размѣровъ. Крупнозернистый песокъ падаетъ въ водѣ скорѣе песка мелкаго, а мельчайшая пыль требуетъ для своего паденія очень много времени; этой разницей на практикѣ пользуются для отдѣленія другъ отъ друга тѣлъ зернистаго строенія, имѣющихъ различные размѣры.

То же самое мы имѣемъ и въ атмосферѣ: крупныя дождевыя капли падаютъ быстро, а мелкія — медленно; что же касается тумана, то и онъ въ концѣ концовъ падаетъ, но его паденіе настолько медленно, что это движеніе наблюдается лишь съ трудомъ. Законъ этотъ остается справедливымъ до тѣхъ поръ, пока скорость движенія не слишкомъ велика, или пока падающее тѣло не производитъ встрѣчнаго теченія. Простѣйшій примѣръ представляетъ собою медленно падающая сфера, сдержи-

ваемая одною только вязкостью, безъ всякихъ волнъ или встрѣчныхъ теченій. Она скоро достигаетъ того, что мы называемъ окончательною скоростью, и что представляетъ собою скорость, при которой вязкость жидкости вполнѣ уравновѣшивается ея вѣсомъ. При такой скорости дѣйствующая на нее результирующая сила равна нулю, т. е. она просто подчиняется первому закону движенія и движется съ постоянною скоростью. Эта послѣдняя, для случая падающей дождевой капли радіуса r, была вычислена сэромъ Джорджемъ Стоксомъ слѣдующимъ образомъ:

$$c = \frac{2}{9} \cdot \frac{g\rho r^2}{\text{вязкость воздуха}}$$

гдѣ ρ есть разность плотностей сферы и представляющей сопротивленіе среды. Вычисленіе это сдѣлано въ предположеніи, что въ данномъ случаѣ нѣтъ скольженія по поверхности. Возможное же максимальное дѣйствіе этого послѣдняго выразится въ увеличеніи окончательной скорости въ полтора раза, т. е. въ обращеніи численнаго коэфиціента $^2/_9$ въ $^1/_3$.

Эти простыя формулы связываютъ между собою скорость паденія дождевыхъ капель и ихъ размѣры. Зная поэтому вязкость воздуха и наблюдая скорость паденія, можно вычислить размѣры падающихъ капель.

Экспериментальный разсчетъ Дж. Дж. Томсона

Теперь въ нашихъ рукахъ имѣются всѣ матеріалы для того, чтобы произвести экспериментальный подсчетъ іоновъ, получающихся въ воздухѣ подъ дѣйствіемъ рентгеновскихъ лучей или, если таковые имѣются, электроновъ, которые получаются отъ освѣщаемой ультра-фіолетовымъ свѣтомъ отрицательно заряженной поверхности. Служащій для этого приборъ изображенъ на рис. 4.

Совершенно также, какъ и на рис. 2, пользовались гладко отполированной цинковой поверхностью, на которую падалъ ультра-фіолетовый свѣтъ. Сосудъ былъ снабженъ кварцевымъ

окошечкомъ, дѣлавшимъ его непроницаемымъ для воздуха, который можно было выкачать, но допускавшимъ вмѣстѣ съ тѣмъ прохожденіе ультра-фіолетоваго свѣта. Приборъ этотъ отличался отъ прибора, изображеннаго на рис. 2, только тѣмъ,

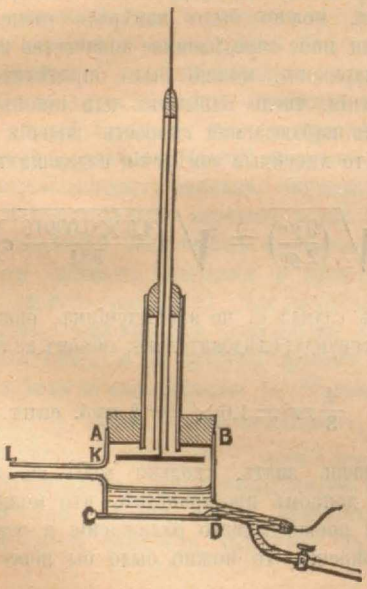


Рис. 4

Рисунокъ этотъ почти тожественъ съ рис. 2-мъ части III, съ тою только разницей, что здѣсь проволочную сѣтку замѣняетъ слой воды. Сосудъ этотъ пристраивался къ прибору, изображенному на рис. 3-мъ.

что бывшая тамъ металлическая сѣточка замѣнялась здѣсь слоемъ воды.

Соединяя воду и цинкъ съ зажимами электрометра, можно было опредѣлить утечку, создаваемую токомъ *Neu*, причемъ посредствомъ батареи изъ достаточнаго числа элементовъ цинковую пластинку можно было заряжать отрицательно.

Примѣняя теперь къ этому прибору придуманное Вильсономъ и изображенное на рис. 3 приспособленіе для адіабатическаго расширенія, можно было производить образующее туманъ сгущеніе и наблюдать скорость его паденія, а пользуясь теоремой Стокса, можно было узнать и размѣры шариковъ. Съ помощью же процесса, въ подробности котораго я не стану здѣсь вдаваться, можно было измѣрять степень разрѣженія, дающаго то или иное опредѣленное количество шариковъ. Зная число этихъ шариковъ, можно было опредѣлить и число ихъ центровъ сгущенія, число ядрышекъ или іоновъ.

Если c есть наблюдаемая скорость паденія въ неподвижномъ воздухѣ, то линейныя измѣренія падающихъ капель будутъ

$$r = \sqrt{\left(\frac{9\,\mu c}{2\,g\rho}\right)} = \sqrt{\left(\frac{4{,}5 \times 0{,}00018}{981}\,c\right)} \text{ сант.}$$

Въ данномъ случаѣ c, по наблюденіямъ, оказалось равнымъ 0,14 сант. въ секунду; слѣдовательно, объемъ каждой капли былъ

$$\frac{4}{3}\pi r^3 = 1{,}6 \times 10^{-10} \text{ куб. сант.}$$

Еслибы теперь знать, сколько воды во всѣхъ капляхъ содержится въ данномъ пространствѣ, что можетъ дать измѣреніе величины производящаго охлажденіе и осажденіе адіабатическаго расширенія, то можно было бы пересчитать и число капель.

При измѣреніи надо быть очень осторожнымъ, такъ какъ даже и въ отсутствіи электроновъ или обусловливающихъ явленіе ядрышекъ можетъ появиться нѣкоторое количество тумана. Поэтому необходимо дифференціальное наблюденіе, не говоря уже о томъ, что надо озаботиться, чтобы въ ходъ пошли всѣ ядрышки, а не только часть ихъ.

Найденное такимъ образомъ въ одномъ опытѣ число капель оказалось равнымъ 30.000 на кубическій сантиметръ; все же количество воды, образующей эти капли, было около одной двухсотой миллиграмма.

Общіе результаты

Результатомъ такого остроумнаго подсчета является непосредственное опредѣленіе абсолютнаго заряда и абсолютной массы электрона. До сихъ поръ многими различными путями мы опредѣляли отношеніе e/m и скорость u. Какъ уже выяснено, мы могли опредѣлить также Neu, Ne и Nmu^2.

Теперь мы нашли N, а слѣдовательно, въ концѣ концовъ отдѣлили другъ отъ друга и члены отношенія e/m.

Настоящій іонный зарядъ e, какъ и предполагалось, оказывается величиной порядка 3×10^{-10} электростатическихъ или 3×10^{-20} электромагнитныхъ единицъ; слѣдовательно, масса m для носителей положительныхъ зарядовъ и для іоновъ является массой, соотвѣтствующей настоящимъ атомамъ. Въ иныхъ случаяхъ массы эти бываютъ бо́льшими и представляютъ собою агрегаты молекулярнаго характера. Для носителей же отрицательныхъ зарядовъ, становящихся свободными подъ дѣйствіемъ ультра-фіолетоваго свѣта, и для другихъ случаевъ, гдѣ $e/m = 10^7$, массы являются величинами порядка 10^{-27} граммовъ или составляютъ около $\frac{1}{700}$ части самаго небольшого, извѣстнаго до сихъ поръ, количества матеріи, т. е. атома водорода.

Такимъ образомъ, мы экспериментальнымъ путемъ пришли къ возможности существованія массъ, меньшихъ атома, каковое открытіе по своей важности образуетъ въ наукѣ цѣлую новую эпоху.

Часть VI

Электрическая теорія матеріи

Опредѣленіе величины электроновъ

Слѣдуя гипотезѣ, предполагающей, что летящая или колеблющаяся частица представляетъ собою матеріальный корпускулъ (тѣльце), заряженный электричествомъ, т. е. что она двойного состава и обладаетъ нѣкоторою сложною, отчасти матеріальною, а отчасти электрическою инерціею, нельзя сдѣлать дальнѣйшаго шага впередъ. Что же касается гипотезы, утверждающей, что летящая или колеблющаяся частица есть электронъ, который не что иное, какъ электрическій зарядъ, какъ нѣкоторая составная часть атома, но не съ матеріальнымъ ядромъ,—т. е. гипотезы, разсматривающей всѣ атомныя свойства обусловливаемыми нѣкоторымъ агрегатомъ электроновъ противоположнаго знака, одинъ или два изъ которыхъ сравнительно свободны и могутъ быть выдѣлены, то по ней опредѣленіе массы корпускула влечетъ за собой неизбѣжное слѣдствіе въ видѣ опредѣленія и его размѣровъ.

Уже было указано, что, дѣлая проволоку достаточно тонкой, можно сообщить ей желаемую величину самоиндукціи, и что, концентрируя достаточно электрическій зарядъ, ему можно сообщить желаемое количество энергіи. При нѣкоторой данной скорости движенія энергія будетъ пропорціональна количеству и потенціалу, а послѣдній можно сдѣлать сколь угодно

большимъ, чрезвычайно уменьшая размѣры тѣла, несущаго на себѣ зарядъ.

Дѣйствующею областью является область напряженія силы, находящаяся возлѣ проволоки или близь заряженной частицы: а такимъ образомъ, какъ уже указано, по чисто-электрической теоріи матеріи, знанія при данной скорости массы или кинетической энергіи достаточно для опредѣленія величины электроновъ, представляющихъ собою составныя части матеріи. Поэтому, существуетъ ли нѣкоторая дѣйствительно матеріальная инерція или нѣтъ, но электрическая, конечно, существуетъ. Въ случаѣ электрическаго характера причина ея извѣстна: она обязана реакціи электрическаго и магнитнаго полей въ теченіе періодовъ ускоренія и называется самоиндукціей.

Другого рода совершенно невозможно. Вполнѣ вѣроятно, что то, что мы наблюдаемъ, какъ инерцію обыкновенной матеріи, есть просто электростатическая инерція или самоиндукція огромнаго числа іонныхъ зарядовъ, электрическихъ атомовъ или электроновъ.

Гипотеза эта ясна и крайне интересна, такъ какъ даетъ намъ возможность сдѣлать шагъ впередъ. Смѣшеніе свойствъ, частью объясняемыхъ, какъ электрическія, а отчасти необъяснимыхъ, какъ матеріальныя, нисколько не служитъ намъ камнемъ преткновенія. Встрѣтить его мы можемъ развѣ только въ нѣкоторыхъ средствахъ, дающихъ намъ возможность опредѣленія числа корпускуловъ, принадлежащихъ всякому ингредіенту.

Измѣренія корпускула привели къ чему-то вродѣ 0,001 атома водорода, а его зарядъ далъ 10^{-10} электростатическихъ единицъ. Такой инерціей обладаетъ столько электричества въ томъ случаѣ, если оно находится на сферѣ радіусомъ въ 10^{-13} сантиметровъ. Не иначе. Слѣдовательно, намъ надо принять, что размѣры электрона имѣютъ порядокъ 10^{-13} сантиметроваго діаметра, что составляетъ 0,00001 извѣстнаго 10^{-8} сантиметроваго линейнаго измѣренія молекулярной величины.

Вычисленіе порядка величины для всѣхъ обыкновенныхъ скоростей очень просто, такъ какъ для нихъ мы имѣемъ

$$m = \rho e^2/a$$

$$a = \frac{e}{m} \cdot e = 10^7 \times 10^{-20} = 10^{-13} \text{ сантиметровъ.}$$

Впрочемъ, изъ нѣкоторыхъ данныхъ порядокъ можно оцѣнить и въ 10^{-14}. Величиной, подобной этой, объясняется и та способность проникновенія, которою обладаютъ катодные лучи, особенно если и сами матеріальные атомы состоятъ изъ подобныхъ маленькихъ частичекъ, такъ какъ въ такомъ случаѣ промежуточныя пространства будутъ, по сравненію съ пространствами заполненными, громадны, и точка будетъ имѣть возможность глубоко проникнуть въ такой агрегатъ, не столкнувшись съ чѣмъ бы то ни было.

Вопросъ о среднемъ свободномъ пути частицы есть вопросъ исчисленія вѣроятностей. Въ пространствѣ Ax, содержащемъ на единицу объема n_1 препятствій, послѣднихъ будетъ $n = Axn_1$, и въ то время, какъ одно изъ нихъ проходитъ длину x, шансы столкновенія будутъ равны приблизительно ихъ общей поверхности, точно также, какъ поверхность тѣхъ частей мишени, въ которыя попалъ выстрѣлъ, сравнивается со всею поверхностью, доступною какъ для ударовъ, такъ и для промаховъ:

$$\frac{n\pi a^2}{A} = \alpha x = \frac{x}{\bar{x}}$$

гдѣ $\bar{x}$ есть «средній свободный путь» или среднее разстояніе, проходимое нѣкоторою одною частицею безъ столкновенія съ другой, а α — число встрѣчъ за то время, пока она проходитъ единицу разстоянія. Но, говоря это, мы игнорируемъ междучастичныя силы и не смотримъ, какъ на столкновеніе, на круговое движеніе.

Итакъ, что касается порядка величины, то, пропуская множитель $^3/_4$ или $\sqrt{2}$, который былъ бы данъ полной теоріей, —

$$x = \frac{Ax}{n\pi a^2} = \frac{1}{n_1 \pi a^2} = \frac{d^3}{\pi a^2}$$

гдѣ d^3 есть кубическое пространство, предназначенное для каждой частицы, тогда какъ въ дѣйствительности оно равно

$$\frac{4}{3}\pi\left(\frac{a}{2}\right)^3$$

Поэтому $\frac{\overline{x}}{a} = \frac{\text{все занятое пространство}}{\text{увосьмеренный общій объемъ частицъ}}$

Положеніе это иногда цитируется, какъ теорема Лошмидта.

Итакъ, средній свободный путь можно опредѣлить съ помощью разсмотрѣнія вопроса о томъ, сколько пространства въ атомѣ занимаетъ вещество всѣхъ электроновъ, сравнительно со всѣмъ пространствомъ, занятымъ самимъ атомомъ. Другими словами, намъ надо разсмотрѣть, что это за величина 10^{-13} для средняго діаметра электрона по сравненію съ величиною 10^{-8} для діаметра атома. Въ солнечной системѣ діаметръ земли составляетъ $^1/_{20000}$ часть діаметра ея орбиты вокругъ солнца. Слѣдовательно, еслибы земля представляла собою электронъ, то атомъ оказался бы шаромъ, котораго центромъ было бы солнце, а радіусъ равнялся бы упятеренному разстоянію отъ него земли.

Другими словами, если атомъ вообще состоитъ изъ электроновъ, то по отношенію къ его величинѣ они находятся въ такой же пропорціи, въ какой находятся въ солнечной системѣ планеты по отношенію къ солнцу.

Въ атомѣ водорода общую массу составляетъ около 1.000 или, говоря точнѣе, 700 электроновъ. Въ атомѣ натрія, который въ 23 раза тяжелѣе, электроновъ должно быть около 15.000. Въ атомѣ же ртути ихъ должно быть болѣе 100.000.

Разсмотримъ теперь атомъ ртути, содержащій 100.000 такихъ тѣлъ, находящихся въ сферѣ, радіусъ которой равняется 10^{-8} сантиметрамъ. Прежде всего казалось бы, что они наполняли бы все пространство атома вплотную другъ къ другу; но они размѣщены свободно. Поперечникъ каждаго электрона составляетъ только 10^{-13} сантиметровъ, и вдоль нѣкотораго діаметра атома ихъ уложилось бы всего около пятидесяти экземпляровъ; слѣдовательно, пустое пространство внутри атома неизмѣримо больше пространствъ заполненныхъ. Въ линейныхъ мѣрахъ оно больше въ тысячу разъ; въ кубическихъ—въ тысячу милліоновъ разъ.

Весь объемъ атома есть 10^{-24} куб. сант.; общій же объемъ всѣхъ электроновъ, составляющихъ атомъ, равенъ $10^5 \times 10^{-39} = 10^{-34}$ куб. сант.; слѣдовательно, свободное

пространство въ 10^{10} или въ десять тысячъ милліоновъ разъ больше пространства заполненнаго.

Даже внутри атома ртути расположеніе электроновъ поэтому почти такое же, какъ и расположеніе планетъ въ солнечной системѣ. Вѣдь хотя внѣшнія планеты и отстоятъ одна отъ другой дальше, чѣмъ планеты внутреннія, но онѣ больше, и практически получается своего рода компенсація сравниваемыхъ протяженій.

Возвращаясь теперь къ тому, что иногда называется въ кинетической теоріи газовъ теоремою Лошмидта, и что грубо было получено выше, а именно къ выраженію:

$$\frac{\text{средній свободный путь}}{\frac{1}{8}\text{ діаметра частицы}} =$$

$$= \frac{\text{объемъ доступнаго частицамъ пространства}}{\text{общій объемъ составляющаго ихъ вещества}}$$

мы вычислимъ эту дробь для атома ртути и получимъ

$$\frac{\frac{4}{3}\pi \times \left(10^{-8}\right)^3}{100000 \times \frac{4}{3}\pi \left(10^{-13}\right)^3} = \frac{10^{-24}}{10^5 \times 10^{-39}} = 10^{10}$$

Слѣдовательно, средній свободный путь электрона внутри атома ртути въ 10^9 разъ больше діаметра электрона или равенъ 10^{-4} сант.; т. е. электронъ можетъ пройти безъ столкновенія черезъ толщу вещества, равную длинѣ ряда 10.000 атомовъ ртути, положенныхъ другъ за другомъ.

Въ нѣкоторомъ другомъ, менѣе плотномъ веществѣ онъ пройдетъ еще дальше. Въ дѣйствительности *разстояніе*, проходимое корпускулами при погруженіи ихъ въ плотный металлъ, очень мало, составляя всего лишь одну тысячную долю миллиметра, и вовсе не должно быть прямой линіей; платина задерживаетъ ихъ почти у самой своей поверхности. Нѣкоторые корпускулы будутъ задержаны еще раньше; но, вообще говоря, 10^{-4} есть приблизительно то разстояніе, которое они проходятъ въ твердомъ тѣлѣ такой плотности, какъ платина.

Разстояніе это не даетъ однако указанія на значеніе отрицательнаго ускоренія во время столкновенія, потому что бо́льшая часть тысячной доли миллиметра составляетъ протяженіе свободнаго полета; остановка же происходитъ только въ послѣдній моментъ этого полета, т. е. въ моментъ столкновенія. Такъ какъ сталкивающіяся массы относятся, какъ 100.000 къ 1, то можно было бы вычислить и измѣненіе скорости ихъ при соприкосновеніи; но въ дѣйствительности столкновенія носятъ астрономическій или кометный характеръ, и дѣйствія ихъ аналогичны тому, что происходитъ съ кометами, когда онѣ проходятъ вблизи планеты: послѣдняя служитъ для нихъ своего рода ловушкой, но онѣ остаются неизмѣнными членами солнечной системы.

То, что происходитъ обыкновенно съ кометой, ходящей взадъ и впередъ, можно назвать столкновеніемъ съ солнцемъ и отраженіемъ отъ него; еслибы мы могли охватить своимъ зрѣніемъ всю ширь пространства, то и тогда, впрочемъ, вещество въ дѣйствительности не встрѣтилось бы; двѣ же вѣтви гиперболической орбиты кометы оказались бы прямыми линіями приближенія и удаленія.

Однако кометы, которымъ случается проходить очень близко отъ планеты, отклоняются, кружатся вокругъ нея и часто попадаютъ въ нее, отступая съ такой незначительной дифференціальной скоростью, которая не можетъ удержать ихъ отъ притяженія солнца, благодаря чему онѣ на него и падаютъ. Если же съ ними и не происходитъ этого, онѣ продолжаютъ кружиться вокругъ солнца по эллиптической орбитѣ, дѣлаясь членами солнечной системы и обращаясь въ концѣ концовъ во множество метеоровъ.

Встрѣча или кажущееся столкновеніе электроновъ, движущихся невѣроятно быстро, на подобіе кометъ, съ частью массивной системы атома мы должны представить себѣ чѣмъ-то вродѣ того извѣстнаго процесса, который имѣетъ мѣсто въ астрономіи, и который сопровождается почти подобными же обстоятельствами.

Поэтому остановка будетъ въ предѣлахъ величины атома, т. е. въ предѣлахъ 10^{-8} сант.; ускореніе будетъ порядка

$\frac{u^2}{2l} = 10^{26}$ *c. g. s.*, а сила, необходимая для того, чтобы остановить простой электронъ, будетъ составлять десятую долю дины.

Неудивительно, что происходятъ явленія радіаціи. «Мощность», требуемую для остановки электрона, движущагося со скоростью, въ тридцать разъ меньшею скорости свѣта, внутри молекулярной толщи можно выразить такъ:

$$\text{энергія} \div \text{время} = \frac{1}{2} mu^2 \cdot \frac{u}{2l} = 10^{-27} \left(10^8\right)^3 10^8 =$$

$$= 10^8 \text{ эрговъ въ секунду;}$$

или:

$$Fl \div t = \frac{1}{2} Fu = 10^{-1} \times 10^9 = 10^8$$

что эквивалентно десяти уаттамъ (хотя время равно 10^{-17} долѣ секунды).

Но лишь малая часть этихъ эрговъ идетъ на радіацію. Ее можно вычислить, пользуясь приведеннымъ въ приложеніи *G* къ части IV выраженіемъ Лярмора. Она будетъ:

$$\frac{\rho e^2}{v}\left(w\right)^2 = \frac{10^{-40}}{10^{10}} \times 10^{52} = 100 \text{ эрговъ въ секунду.}$$

Стоитъ разсмотрѣть, когда радіація доминируетъ надъ теплотою, и когда происходитъ обратное явленіе. Иногда поверхность, на которую падаютъ электроны, нагрѣвается, иногда же испускаетъ X-лучи. Пусть будетъ u скорость и l длина пространства, на которомъ происходитъ остановка; тогда

$$w = \frac{u^2}{2l}$$

сила, необходимая для остановки, —

$$mw = \frac{2\rho e^2}{3a} \cdot \frac{u^2}{2l}$$

а «мощность» удара —

$$\frac{1}{2} Fu = \frac{\rho e^2 u^3}{6al}.$$

гдѣ сила радіаціи есть

$$\frac{2\rho e^2}{3v} \cdot \left(\frac{u^2}{2l}\right)^2 = \frac{\rho e^2 u^4}{6vl^2}$$

Поэтому

$$\frac{\text{мощность радіаціи}}{\text{вся мощность}} = \frac{a}{l} \cdot \frac{u}{v} = \frac{2a}{vt}$$

гдѣ t время, требующееся на остановку, и v скорость свѣта.

Такимъ образомъ дѣйствующая мощность радіаціи зависитъ главнымъ образомъ отъ слишкомъ внезапной остановки и отъ скорости, близкой къ скорости свѣта. Если скорость электрона составляетъ одну десятую скорости свѣта, а пространство, на которомъ онъ останавливается, равно приблизительно его діаметру, то до 10% его энергіи идетъ на радіацію, а остальная ея часть переходитъ въ другія формы, преимущественно же въ теплоту.

По мѣрѣ уменьшенія скорости, все больше и больше энергіи переходитъ въ теплоту, что находится въ связи съ появленіемъ, при незначительныхъ степеняхъ разрѣженія, краснаго каленія той поверхности, на которую падаютъ электроны.

Отношеніе силы радіаціи ко всей мощности таково, въ какомъ находятся между собою измѣренія электрона и разстояніе, которое прошелъ бы свѣтъ за весь промежутокъ времени, требующійся для полной остановки. Такимъ образомъ для полученія всей энергіи радіаціи необходимо, чтобы тѣльце, движущееся съ одной десятой скорости свѣта, было остановлено на пространствѣ, равномъ одной десятой его діаметра.

Защита электрическаго воззрѣнія на матерію

Чѣмъ же мы можемъ защитить необычайно далеко зашедшую гипотезу, предполагающую, что матерію составляютъ электроны, что матеріальные атомы состоятъ изъ электрическихъ зарядовъ, что инерція, это основное свойство матеріи, тожественна съ самоиндукціей?

Въ наукѣ очень часто и вполнѣ основательно возражаютъ противъ двухъ способовъ объясненія одного предмета. Если инерцію можно объяснять электрически, исходя изъ явленій движенія зарядовъ, то кажется ненужнымъ разыскиваніе для ея объясненія какой либо другой причины. Но это еще не все, что можно сказать; вполнѣ возможно, что въ непродолжительномъ времени предстанетъ на судъ науки и непосредственное экспериментальное доказательство. Методъ, предложенный профессоромъ Дж. Дж. Томсономъ, касается отношенія радіаціи къ энергіи термической, развивающейся въ томъ случаѣ, если корпускулы ударяются о какую либо поверхность, внезапно останавливающую ихъ. Поскольку они состоятъ изъ не-электрической матеріи, они производятъ своимъ столкновеніемъ только теплоту, не производя непосредственно эфирныхъ волнъ; поскольку же они состоятъ изъ электрическихъ зарядовъ, они распространяютъ нѣкоторое количество энергіи въ видѣ радіаціи. Такимъ образомъ критеріумомъ можетъ служить отношеніе радіаціи къ теплотѣ. До сихъ поръ однако не было сдѣлано въ этомъ направленіи надлежащихъ измѣреній.

Къ заключительному результату мы можемъ подойти и другимъ, болѣе вѣроятнымъ путемъ. Намъ извѣстно, что если электрическій зарядъ движется со скоростью, близкою къ скорости свѣта, то его инерція теоретически не остается постоянной, а быстро возрастаетъ и становится безконечной, когда достигнута величина скорости свѣта; такъ обстоитъ дѣло по крайней мѣрѣ по общепринятой теоріи. Многіе физики-математики вычисляли и болѣе сложныя и совершенно несоотвѣтственныя выраженія для инерціи при подобныхъ громадныхъ скоростяхъ. См. приложеніе *K*, гдѣ трактуется этотъ трудный вопросъ.

Легко возможно, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ образованія катодныхъ лучей скорость не можетъ достигнуть величины, очень близкой къ скорости свѣта, а возрастаніе инерціи наблюдается. Такое экспериментальное опредѣленіе было совсѣмъ недавно сдѣлано профессоромъ Кауфманомъ, который воспользовался указаннымъ выше (часть III) методомъ взаимнаго сравненія электрическаго и магнитнаго отклоненія однихъ и тѣхъ же лучей, подвергавшихся поперемѣнно вліянію то электрическаго, то магнитнаго поля. Такимъ образомъ становятся

извѣстными и скорость, и отношеніе e/m; Кауфманъ пришелъ къ заключенію, что когда скорости замѣтно приближаются къ скорости свѣта, то электрохимическій эквивалентъ возрастаетъ какъ разъ на ту величину, которая требуется чисто-электрической теоріей, т. е. находится въ согласіи съ теоріей, приписывающей всю инерцію электрическому вліянію. Повидимому, нѣтъ мѣста для какой либо экстра-инерціи, какой обладаетъ движущаяся вмѣстѣ съ зарядомъ частица не-электрической матеріи, и которая остается постоянной при всѣхъ скоростяхъ, не возрастая замѣтнымъ образомъ даже и въ тѣхъ случаяхъ, когда скорость отличается отъ скорости свѣта хотя бы на разстояніе человѣческаго голоса.

Слишкомъ рано, конечно, говорить о томъ, стоитъ ли вѣрить этимъ результатамъ или нѣтъ. Попытка блестяща, и едва ли можно сомнѣваться, что еще задолго до полной очевидности о ней будутъ спорить, прежде чѣмъ у насъ явится возможность принять гипотезу объ электрической природѣ инерціи или отвергнуть ее.

Между тѣмъ эта гипотеза представляется настолько вѣроятной, что вполнѣ достойно оправданія желаніе заглянуть впередъ и посмотрѣть на нѣкоторыя слѣдствія воззрѣнія, по которому всѣ матеріальные атомы состоятъ изъ однѣхъ и тѣхъ же основныхъ единицъ, и видѣть, что они представляютъ собою агрегаты опредѣленнаго числа различно сгруппированныхъ, отрицательныхъ и положительныхъ, движущихся по орбитамъ электроновъ.

Нисколько не легче представлять себѣ электроны неподвижными, сгруппированными въ различныя возможныя системы, знакомыя всякому, изучающему кристаллографію.

Химическія и молекулярныя силы

Уже давно было извѣстно, что сила химическаго сродства— электрическаго характера. Обыкновенное притяженіе другъ къ другу заряженныхъ тѣлъ можно назвать основнымъ химическимъ дѣйствіемъ; здѣсь не бываетъ только настоящаго со-

единенія, такъ какъ противоположные заряды разрѣшаются въ проскакивающую между ними искру, и такимъ образомъ, при достиженіи нѣкотораго незначительнаго, отдѣляющаго ихъ другъ отъ друга разстоянія, притяженіе прекращается. Мысль о томъ, что химическія силы въ дѣйствительности суть силы электрическія, принадлежитъ еще сэру Гумфри Деви.

Дѣйствительное химическое притяженіе имѣетъ мѣсто между двумя атомами, въ каждомъ изъ которыхъ содержится по нечетному числу электроновъ. Лишнихъ электроновъ одного знака можетъ быть одинъ или нѣсколько. Такой атомъ обладаетъ центромъ силы и потому притягивается къ другимъ атомамъ, входя съ ними въ простое или химическое соединеніе. Избытокъ имѣется, вѣроятно, въ отрицательномъ зарядѣ, а недостатокъ — въ положительномъ. Когда атомы соединяются, то излишекъ одного изъ нихъ покрываетъ, вѣроятно, недостатокъ другого, результатомъ чего и является образованіе полной или нейтральной молекулы.

Подобное соединеніе не бываетъ однако никогда совершенно такимъ же прочнымъ и постояннымъ, какъ соединеніе электроновъ въ самомъ атомѣ; подъ вліяніемъ различныхъ разлагающихъ процессовъ эта молекула легко снова распадается и, повинуясь тому, не можетъ переходить въ новыя вещества какимъ либо инымъ путемъ. Исключеніе составляетъ органическая химія, гдѣ могутъ быть различныя формы распаденія сложной молекулы, служащія для образованія новыхъ соединеній. Такъ:

$$CH_3 . CH_3 = C_2H_5 . H$$

Весьма вѣроятно, что то же самое возможно и въ простыхъ тѣлахъ, и что такъ называемые «элементы» представляютъ собою особо-устойчивую группу, составныя части которой до сихъ поръ были только отчасти разложены въ изомерныя или аллотропическія формы, но не были отдѣлены одна отъ другой.

Когда между двумя противоположно заряженными атомами происходитъ химическое соединеніе, то разряда между ними не бываетъ: каждый изъ двухъ атомовъ удерживаетъ собственный свой зарядъ, благодаря чему оба они и держатся вмѣстѣ. Если же они отдѣляются другъ отъ друга, то каждый изъ

нихъ становится іономъ, обладающимъ свойственнымъ ему зарядомъ.

Группу нейтральныхъ молекулъ можно зарядить путемъ обыкновенной электризаціи, избыткомъ или недостаткомъ одного либо нѣсколькихъ электроновъ, но связь между такими электронами весьма непрочна: они могутъ быть удалены дѣйствіемъ ультра-фіолетоваго свѣта или нѣкоторыми другими путями. Въ случаяхъ же тяжелыхъ молекулъ, взаимнаго ихъ столкновенія или дѣйствія другъ на друга подъ вліяніемъ обыкновенной температуры бываетъ уже достаточно для того, чтобы нѣкоторые изъ свободныхъ электроновъ удалились по касательнымъ къ своимъ орбитамъ, обладая при этомъ и надлежащею скоростью. Отсюда-то и возникаютъ недавно открытыя явленія, называемыя *радіоактивностью*.

Молекулярныя силы — Сцѣпленіе

Существуетъ еще и другой родъ связи или сцѣпленія молекулъ, не химическій, а такъ называемый молекулярный. Онъ имѣетъ мѣсто между атомами, не обладающими іонными или экстра-зарядами, но состоящими изъ парныхъ группъ электроновъ. При довольно значительномъ разстояніи сила притяженія парныхъ электроновъ сводится почти къ нулю, но при разстояніяхъ весьма малыхъ она очень велика и мало чѣмъ отличается отъ химическаго соединенія: подобная связь состоитъ изъ ряда слабыхъ связей во множествѣ точекъ, а химическое соединеніе представляетъ собою прочную связь только въ одной точкѣ.

Разсмотримъ внѣшнюю поверхность атома, состоящаго изъ правильно-распланированной группы электроновъ, отдѣленныхъ другъ отъ друга пустыми пространствами, ямочками, и имѣющихъ то одинъ, то другой знакъ. Его равнопотенціальныя поверхности покрыты какъ бы рябью или морщинами, но уже на небольшомъ разстояніи онѣ выравниваются, такъ какъ глубина имѣющихся на нихъ ямочекъ станетъ увеличиваться.

Два такіе атома будутъ поэтому стремиться къ тому, чтобы

уравнять свои равнопотенціальныя поверхности, такъ какъ ямочки одной изъ нихъ будутъ заполнять собою ямочки другой. Это-то и есть то положеніе вещей, которое рисуютъ явленія сцѣпленія (рис. 5).

Было бы трудно изслѣдовать законъ дѣйствующихъ силъ, а для изображенія геометрическаго расположенія въ лежащихъ другъ подлѣ друга атомахъ электроновъ слѣдовало бы сдѣлать много различныхъ оговорокъ; это было бы только приблизительно, такъ какъ, вѣроятно, по крайней мѣрѣ въ самомъ началѣ, намъ нужно было бы принять распредѣленіе ихъ за статическое. Но и такая попытка можетъ оказаться довольно поучительной.

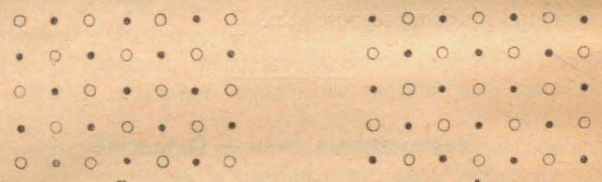


Рис. 5

Обыкновенное сцѣпленіе между двумя нейтральными атомами B и A; каждый атомъ, состоящій изъ ряда электроновъ противоположнаго знака, изображенъ отдѣльно.

Впрочемъ, совершенно ясно, что въ концѣ концовъ имѣется нѣкоторая сила, быстро возрастающая и становящаяся довольно большою при небольшихъ разстояніяхъ, но равная практически нулю на разстояніи значительномъ.

Молекулярныя силы, совершенно также какъ и химическія, по этому взгляду, суть силы электрическія. Но онѣ проявляются между насыщенными химически молекулами и обязаны своимъ происхожденіемъ вліянію на разстояніи однихъ парныхъ электроновъ на другіе, передающемуся черезъ пространства, отдѣляющія молекулы другъ отъ друга.

Іоны соединяться такимъ образомъ не могутъ: еслибы они были заряжены различно, соединеніе ихъ было бы химическимъ; заряженные же одинаково, они сильно отталкивались бы одинъ отъ другого.

Когда же іоны доходятъ до металлическаго электрода, или если ихъ заряды становятся по чему либо иному свободными, они перестаютъ уже быть іонами и могутъ соединяться съ другими молекулами, что и имѣетъ мѣсто на самомъ дѣлѣ.

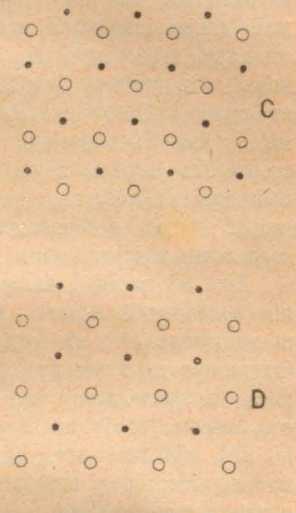


Рис. 6
Два различно поляризованные атома, иллюстрирующіе, слѣдовательно, ,сцѣпленіе, интенсивность котораго повышена электрически.

Іонъ можетъ, конечно, имѣть и болѣе одного свободнаго электрона, образуя діаду или тріаду. Несомнѣнно, крайне поучителенъ тотъ путь, на которомъ нейтральная группа можетъ встрѣтить экстра-ненужный электронъ и пройти мимо него.

Слѣдуетъ отмѣтить вліяніе на такую нейтральную группу электроновъ электрической поляризаціи. Дѣйствіе одного заряженнаго тѣла на другое, рядомъ съ нимъ лежащее, скажется въ нарушеніи равновѣсія и въ измѣненіи группировки электроновъ въ атомѣ: оно заставитъ электроны немного передвинуться,—отрицательные въ одну сторону, а положительные—въ другую (рис. 6).

Приложеніе къ части VI

K—Замѣтка о томъ, что происходитъ съ зарядомъ, движущимся почти со скоростью свѣта

Мистеръ Сэрль любезно обратилъ мое вниманіе на напечатанную имъ въ октябрьской книжкѣ «Philosophical Magazine» за 1897 годъ статью, въ которой онъ утверждаетъ,

что когда скорость движущагося тѣла становится большою, то находящійся на немъ зарядъ не перераспредѣляется, а силовыя линіи сгибаются или отклоняются по направленію къ экватору, переставая уже быть перпендикулярными къ поверхности, изъ которой выходятъ. Къ тому же взгляду склоняется въ своихъ «Electrical Papers» и Хевизайдъ, полагающій, что мы не можемъ поручиться за то, чтобы при такихъ большихъ скоростяхъ силовыя линіи были непремѣнно перпендикулярны къ проводящимъ поверхностямъ. Здѣсь мы имѣемъ нѣчто аналогичное случаю неперпендикулярности свѣтовыхъ лучей къ ихъ волновымъ поверхностямъ въ движущейся средѣ.

Еще въ части I мною было установлено, что силовыя линіи загибаются назадъ по направленію къ экватору; но я предполагалъ, что это отклоненіе линій таково, что онѣ приближаются къ экватору сферы, оставляя ея полюсы безъ заряда, но продолжая распространяться радіально. Я допускаю, что силовыя линіи не непремѣнно распространяются радіально, но мнѣ кажется, что, по мѣрѣ возрастанія скорости, образуется нѣкоторое перераспредѣленіе заряда, каковой фактъ однако неваженъ. Сэрль вычисляетъ, что, пока сфера неподвижна, дѣйствіе ея таково, какъ еслибы зарядъ былъ въ центральной точкѣ; когда же сфера приходитъ въ движеніе, эквивалентная точка эта развертывается въ однородно-заряженную линію, образующую небольшую среднюю часть діаметра. Длина этой линіи постепенно увеличивается, пока — если только это возможно—скорость не станетъ равною скорости свѣта. Но при этомъ не принимаются въ разсчетъ измѣненія въ самой сферѣ, къ которымъ я теперь и перейду.

Несомнѣнно, что взятый въ полномъ своемъ объемѣ вопросъ о томъ, что происходитъ въ движущемся съ громадною скоростью заряженномъ тѣлѣ, очень сложенъ. При достиженіи имъ скорости, составляющей 20 процентовъ скорости свѣта, какъ его инерцію, такъ и отклоняющую силу надо уже разсматривать полнѣе и подробнѣе.

Сэрль отмѣчаетъ, что инерцію можно опредѣлить трояко: какъ отношеніе силы къ ускоренію, какъ отношеніе момента къ скорости и какъ отношеніе кинетической энергіи къ половинѣ квадрата скорости. Хорошо извѣстно, что въ обыкновен-

ныхъ случаяхъ, для медленныхъ электрическихъ движеній, три эти опредѣленія означаютъ одно и то же; для быстрыхъ же электрическихъ движеній они становятся различными. Теперь, когда съ помощью свободныхъ корпускуловъ, находящихся въ разрѣженномъ пространствѣ, можно достигать на практикѣ такихъ громадныхъ скоростей, которыя неслишкомъ разнятся отъ скорости свѣта, матерію надо разсматривать болѣе тщательно и подробно. Др. Абрэмъ въ напечатанной имъ въ январѣ 1902 года въ Геттингенѣ книгѣ отличаетъ «продольную» инерцію отъ инерціи «поперечной», говоря, что инерція зависитъ не только отъ скорости движенія, но и отъ направленія, въ которомъ тѣло получаетъ ускореніе.

Всѣ эти результаты еще болѣе усложняются разсмотрѣніемъ вліянія самого ускоренія. Когда оно значительно, то порождаетъ нѣкоторую замѣтную радіацію, представляющую собою разсѣяніе энергіи. Хотя такая потеря энергіи черезъ посредство радіаціи оказываетъ прежде всего сопротивленіе движенію, т. е. сказывается на скорости, но она можетъ повліять кромѣ того и на инерцію. Однако вліяніе это, вѣроятно, совершенно мало и ничтожно во всѣхъ практическихъ случаяхъ; а пока движеніе совершается равномѣрно по прямой линіи, его нѣтъ и вовсе, такъ какъ въ такомъ случаѣ радіація не имѣетъ мѣста. Но тогда нельзя, конечно, при этихъ условіяхъ и измѣрить инерцію тѣла. Инерція становится ощутительной лишь при томъ или иномъ измѣненіи величины или направленія скорости, что влечетъ за собой и радіацію, хотя обыкновенно послѣдняя бываетъ очень незначительна.

Очень нелегко выбрать для инерціи движущагося съ нѣкоторою скоростью тѣла подходящее выраженіе. Ихъ существуетъ немало, и притомъ они крайне разнообразны. Нѣкоторыя изъ нихъ даны въ первой главѣ книги Дж. Дж. Томсона «Recent Researches in Electricity and Magnetism». Всѣ они малопривлекательны, а изъ найденныхъ Сэрлемъ результатовъ явствуетъ, что примѣнять ихъ можно только съ весьма тщательными оговорками и предосторожностями. По этимъ-то причинамъ я и не стану входить въ дальнѣйшіе о нихъ разговоры, кромѣ того, что можетъ быть необходимо для той или иной оцѣнки попытки Кауфмана обосновать важное

измѣреніе этихъ значительныхъ скоростей наблюденіемъ электрическихъ и магнитныхъ отклоненій, представляемыхъ катодными лучами, для полученія по возможности ихъ измѣненнаго отношенія m/e при особо громадныхъ скоростяхъ.

Если магнитное отклоненіе наблюдается при ультра-громадныхъ скоростяхъ, то намъ слѣдуетъ помнить, что можетъ быть необходимымъ отказаться отъ обыкновеннаго выраженія силы, оказываемой на токъ движущимся полемъ.

При малыхъ скоростяхъ отклоняющая сила выражается произведеніемъ euH, гдѣ e есть зарядъ, движущійся поперекъ поля интенсивности H со скоростью u; что же касается того же выраженія при большихъ скоростяхъ, то оно имѣетъ гораздо болѣе сложный характеръ, и, изслѣдованное Дж. Дж. Томсономъ, оно дается имъ въ первой главѣ его вышеназванной книги въ слѣдующей формѣ:

$$eH \cdot \frac{v^2-u^2}{u}\left(\frac{v}{2u}\log\frac{v+u}{v-u}-1\right)$$

Впрочемъ, при незначительныхъ скоростяхъ употребляется не обыкновенное простое выраженіе, а одна треть его значенія, т. е. $\frac{1}{3}\,euH$. Профессоръ Шустеръ въ одной изъ своихъ статей 1897 года обращаетъ вниманіе на разныя величины численныхъ значеній этого количества, даваемыхъ различными видоизмѣненіями основной теоріи.

Означая черезъ m_0 инерцію для медленнаго движенія и черезъ β отношеніе u/v, т. е. отношеніе скорости движенія къ скорости свѣта, Кауфманъ въ слѣдующей формѣ изображаетъ въ своей статьѣ, помѣщенной въ «Comptes rendus» (vol. 135, стр. 577), то, что Абрэмъ называетъ «transverse inertia»:

$$m=\frac{3m_0}{4\beta^2}\left(\frac{1+\beta^2}{2\beta}\log\frac{1+\beta}{1-\beta}-1\right)$$

Этими-то формулами и пользовался Кауфманъ при своихъ экспериментальныхъ изслѣдованіяхъ.

Для кинетической энергіи Хевисайдъ даетъ гораздо болѣе сложное выраженіе, состоящее изъ $^1/_2 u^2$, помноженнаго на слѣдующее количество:

$$\frac{2e^2}{a}\cdot\frac{1-r}{4r}\left\{1+\frac{2r-\frac{1}{2}}{1-r}+\frac{\left(2r-\frac{1}{2}\right)tang^{-1}\sqrt{\frac{r}{1-r}}}{\sqrt{r\,(1-r)^3}}\right\}$$

гдѣ r представляетъ собою квадратъ отношенія u/v, т. е. u^2/v^2.

Лярморъ трактуетъ весь вопросъ съ общей точки зрѣнія и показываетъ, что для полнаго выраженія реакціи, вызываемой приложенной механической силой, недостаточно одного только ускоренія.

Измѣненія, обусловливаемыя быстрымъ движеніемъ въ эфирѣ

Въ статьѣ, напечатанной Сэрлемъ въ октябрьской книжкѣ 1897 г. журнала «Philosophical Magazine», авторъ указываетъ на тотъ фактъ, что простѣйшее движущееся заряженное тѣло — не шаръ, а сплюснутый сфероидъ; сплюснутъ онъ по направленію движенія, причемъ оси его находятся въ отношеніи $\sqrt{1-\frac{u^2}{v^2}}$, 1, 1. На всѣ точки, находящіяся внѣ заряженнаго тѣла, оно оказываетъ такое дѣйствіе, какъ еслибы зарядъ былъ сосредоточенъ въ одной точкѣ, а именно въ центрѣ сфероида; подобный движущійся со скоростью u сфероидъ и замѣняетъ разсматриваемую въ электростатикѣ сферу. Сэрль назвалъ его эллипсоидомъ Хевизайда, такъ какъ послѣдній впервые указалъ на громадное его значеніе въ теоріи движущихся зарядовъ.

Мнѣ же хочется показать, что, по теоріи Фитцджеральдъ-Лоренца подобный сфероидъ является какъ разъ тѣмъ, во что самъ собою обращается шаръ, находящійся въ достаточно быстромъ движеніи. Гипотеза эта возникла для объясненія отрицательнаго результата опытовъ Михельсона необходимымъ измѣненіемъ измѣреній твердыхъ тѣлъ, въ зависимости отъ направленія движенія ихъ въ эфирѣ. Она обратилась въ опредѣленную, очень важную по своимъ результатамъ теорію, когда

Лоренцъ показалъ, что, согласно электрической теоріи матеріи, такое измѣненіе измѣреній не только вполнѣ основательно и правдоподобно, какъ это замѣтилъ Фитцджеральдъ, но что его и должно ожидать для компенсаціи и для сведенія къ нулю явленія въ опытѣ Михельсона. Такъ какъ подобный результатъ не составляетъ вопроса объ инерціи, а сводится къ статической силѣ, то онъ не измѣнится и въ томъ даже случаѣ, если не предполагать, что вся инерція матеріи—электрическаго характера.

Представленное такимъ образомъ измѣненіе измѣреній начинаютъ понемногу считать болѣе или менѣе вѣроятнымъ. Интересно отмѣтить, что подверженное такому искаженію движущееся тѣло сохраняетъ свойство простѣйшаго геометрическаго тѣла, пока рѣчь идетъ о распредѣленіи электрическаго тока. И въ этомъ случаѣ оно, вѣроятно, уже болѣе не сфера, но получившагося искаженія нельзя обнаружить измѣрительными приборами, такъ какъ для того всѣ они слишкомъ грубы. Замѣчательно, что подобное неощутимое и неизмѣримое однородное искаженіе всей матеріи должно было бы обнаруживаться всегда, но вывести его на свѣтъ могъ только нѣкоторый процессъ въ эфирѣ. Тѣмъ не менѣе оно было обнаружено соединенными усиліями электрической теоріи и оптическаго эксперимента.

Часть VII

Другія слѣдствія электронной теоріи

Радіоактивность

Если со множествомъ атомовъ какого либо вещества связаны электроны, обращающіеся по нѣкоторымъ орбитамъ, то естественъ вопросъ, почему можетъ быть, что вещества не испускаютъ волнъ и не излучаютъ своей энергіи постоянно. Къ счастью, благодаря блестящимъ изысканіямъ Беккереля, Кюри и другихъ, были найдены нѣкоторыя вещества, въ которыхъ интенсивность радіаціи достигаетъ очень замѣтной величины. Радіація эта можетъ быть нѣсколькихъ родовъ; она можетъ состоять:

во 1-хъ, вѣроятно, изъ волнъ или импульсовъ, аналогичныхъ радіаціямъ Рентгена;

во 2-хъ, конечно, изъ лучей, аналогичныхъ ленаровскимъ или катоднымъ лучамъ, состоящимъ изъ движущихся матеріальныхъ электроновъ и іоновъ;

въ 3-хъ, изъ отдѣлившихся частей самого вещества, не заряженныхъ электричествомъ, но испускаемыхъ на подобіе запаха и обладающихъ, подобно остальному веществу, нѣкоторою радіирующею способностью: онѣ могутъ притягиваться къ другимъ, расположеннымъ невдалекѣ отъ нихъ, веществамъ, причемъ и сами эти послѣднія пріобрѣтаютъ на время ту же радіирующую способность.

Веществами съ нѣкоторою болѣе или менѣе значительною радіирующею способностью являются вещества высокаго атомнаго вѣса; ихъ эманирующая (испускающая) способность обусловливается, надо думать, нѣкоторыми внутренними совмѣстными движеніями и столкновеніями атомовъ, происходящими съ силою, достаточною для того, чтобы имъ оторваться; временами изъ нихъ, такъ сказать, испаряются нѣкоторыя частицы меньшихъ размѣровъ; удары столкновеній производятъ какіе-то слабые рентгеновскіе лучи.

Нетрудно допустить, что всякій разъ, какъ происходятъ достаточно внезапныя дѣйствительныя столкновенія, должна происходить нѣкоторая радіація такого рода. Но мы не можемъ удержаться отъ вопроса, почему же не происходитъ ни быстрыхъ обращеній электроновъ по орбитамъ вокругъ атомовъ въ веществахъ, не обладающихъ особо тяжелыми атомами и при не очень значительныхъ термическихъ условіяхъ,—почему въ этихъ случаяхъ не появляется замѣтной радіаціи и потери энергіи? Однимъ изъ отвѣтовъ на это можетъ послужить слѣдующее.

Радіирующіе центры не являются другъ отъ друга изолированными и независящими, а радіирующая поверхность удерживается и слоями вещества, лежащими на большей глубинѣ. Сверхъ того, радіирующіе центры такъ близки другъ къ другу, что во всякихъ фазахъ находятся въ разстояніи, не большемъ четверти волны, на каковой длинѣ ихъ очень много. Множество же ихъ составляетъ худшій радіирующій центръ, чѣмъ одинъ, потому что они интерферируютъ и производятъ лишь незначительное внѣшнее дѣйствіе. Но при недостаткѣ во многихъ отвѣтахъ я сомнѣваюсь въ знаніи того, что радіація порядка низкихъ температуръ существуетъ у всѣхъ веществъ, что энергія сохраняется, и постоянство температуры остается только потому, что потеря равна прибыли, потому что поглощеніе компенсируетъ радіацію, а не потому, что радіація прекращается. Весь вопросъ о радіоактивности настолько обширенъ, что я его здѣсь и не предлагаю. Достаточно будетъ сказать, что нѣкоторое затрудненіе при объясненіи его заключается не въ самомъ фактѣ, а скорѣе въ томъ, почему онъ не такъ общеизвѣстенъ.

Насколько однако рѣчь идетъ о крайне удивительной и интересной фотографической и электрической радіоактивности нѣкоторыхъ рѣдкихъ веществъ, мы предполагаемъ, что бо́льшая ея часть состоитъ какъ въ испусканіи нѣкоторой особой радіаціи,—въ формѣ ли импульсовъ вродѣ X-лучей или какой либо другой,—такъ и въ распространеніи отрицательно заряженныхъ частичекъ или электроновъ, а также, по Струту, иногда и положительныхъ іоновъ. Слабое фотографическое вліяніе обыкновенныхъ веществъ, наблюдавшихся д-ромъ Русселемъ, заставляетъ, кажется, предполагать, что зародышъ такого рода способности не ограничивается только тѣлами съ тяжелыми атомами, вродѣ уранія, радія, полонія и др., описанныхъ Беккерелемъ и супругами Кюри, хотя эти вещества и выказываютъ ее особенно сильно.

Весь этотъ вопросъ, въ связи съ вопросомъ о потерѣ заряда нагрѣтыми тѣлами, впервые открытой нѣсколько лѣтъ назадъ Гёзри, принадлежитъ къ одному изъ тѣхъ, которые обращаютъ на себя особое вниманіе.

Солнечная корона, кометные хвосты, магнитные вихри и сѣверныя сіянія

Другимъ, требующимъ расширенія, вопросомъ является объясненіе различныхъ астрономическихъ и метеорологическихъ явленій съ помощью электронной теоріи.

Въ недавнее время Арреніусомъ была разработана теорія сѣвернаго сіянія. Но все ученіе о солнечныхъ эманаціяхъ и объ отталкиваніяхъ его свѣтомъ и особой электризаціей небольшихъ частицъ знакомо мнѣ уже нѣсколько лѣтъ изъ разговоровъ съ Фитцджеральдомъ и другими.

Земля дѣйствительно служитъ своего рода мишенью для катодныхъ лучей или, скорѣе, для электроновъ, испускаемыхъ нѣкоторымъ нагрѣтымъ тѣломъ, а именно солнцемъ. Постепенное накопленіе отрицательнаго электричества землею есть есте-

ственное слѣдствіе электронной бомбардировки, а цѣлый рядъ явленій магнитныхъ бурь можетъ быть легко объясненъ фактомъ существованія нѣкотораго потока образующихъ электрическій токъ частицъ. А уже давно извѣстно, что магнитныя бури находятся въ нѣкоторой связи съ солнечными пятнами и сѣверными сіяніями. Электрическія же ядра служатъ своего рода центрами сгущенія водяныхъ паровъ въ высшихъ слояхъ атмосферы, и ихъ можно поэтому связать съ паденіемъ дождя.

Эти теоріи дѣйствительно были въ недавнее время разработаны Арреніусомъ; особенно опредѣленно и хорошо данное имъ объясненіе сѣвернаго сіянія, по которому магнитныя силовыя линіи земли захватываютъ электроны и управляютъ ихъ быстрымъ движеніемъ, отклоняя ихъ съ тропиковъ и проводя по линіямъ къ полюсамъ; явленіе, наблюдаемое въ разрѣженныхъ трубкахъ, воспроизводится и въ разрѣженныхъ областяхъ атмосферы. Не менѣе интересны и нѣкоторыя другія астрономическія предположенія.

Законность старыхъ взглядовъ

Теперь, когда опредѣленно принято ученіе объ электричествѣ (по крайней мѣрѣ объ электричествѣ отрицательномъ), какъ о нахожденіи его на небольшихъ зарядахъ или заряженныхъ тѣлахъ, и когда токъ можно трактовать дѣйствительно, какъ движеніе электричества,—теперь можетъ показаться, что предается нѣкоторому сомнѣнію то ученіе, которое немного еще лѣтъ назадъ признавалось за «современные взгляды», и по которому энергія электрическаго тока находится въ пространствѣ, окружающемъ проводникъ. Это однако не непослѣдовательно. Создаваемое электрономъ поле находится внѣ его; его энергія находится въ его полѣ, а при его движеніи она перемѣщается въ окружающемъ его пространствѣ, такъ какъ въ эфирѣ этого пространства имѣется совмѣстное существованіе полей электрическаго и магнитнаго. Въ окружающемъ его

пространствѣ имѣетъ свое пребываніе и его инерція, такъ какъ она обусловливается электродвижущей силой, возникающей при измѣненіи магнитнаго поля, что происходитъ тогда, когда движеніе электрона получаетъ то или иное ускореніе.

Когда мы имѣемъ дѣло съ матеріальной инерціей, мы предполагаемъ обыкновенно, что она заключается въ самомъ веществѣ, между тѣмъ какъ электрическая инерція пребываетъ, какъ извѣстно, въ пространствѣ, окружающемъ ядро. Однако мы особенно настаивали на взглядѣ, что электрическая и матеріальная инерціи по существу одно и то же.

Нѣтъ ли здѣсь непослѣдовательности?

Кажущаяся непослѣдовательность исчезаетъ, коль скоро мы доходимъ до вычисленія крайней сконцентрированности интенсивной части поля электрона. О нѣкоторомъ тѣлѣ, напр., о вихревомъ кольцѣ, можно въ нѣкоторомъ смыслѣ сказать, что оно производитъ пертурбацію во всей атмосферѣ. Болѣе же или менѣе замѣтна пертурбація эта лишь очень близко отъ кольца. Такъ и съ электрономъ. Магнитное поле уменьшается обратно пропорціонально квадрату разстоянія его отъ ядра; слѣдовательно, въ разстояніи, гораздо меньшемъ миллиметра, меньшемъ даже величины атома, оно совершенно незамѣтно. Та часть магнитнаго поля, отъ котораго зависитъ инерція, практически лежитъ очень близко къ самому электрону. Незначительные размѣры электрона какъ разъ и дѣлаютъ подобную концентрацію возможной, и даже въ наиболѣе, такъ сказать, уплотненномъ атомѣ ртути практически не существуетъ такого положенія, чтобы магнитное поле изъ области одного электрона заходило въ область другого, рядомъ съ нимъ находящагося. Всѣ они совершенно независимы; каждый изъ нихъ обладаетъ собственной инерціей, почти изолированной отъ другихъ: еслибы этого не было, то масса тѣла въ тѣсномъ химическомъ соединеніи не была бы постоянной, а уменьшалась бы. Можно, пожалуй, спорить только о томъ, какой изъ нихъ уменьшился бы въ концѣ концовъ.

Моментъ движущагося заряда при обыкновенныхъ скоростяхъ просто обратно пропорціоналенъ радіусу содержащей его сферы, какъ это установлено въ части I, но ограниченіе этого момента, которое мы теперь и разсматриваемъ, дано въ общемъ

видѣ въ книгѣ Дж. Дж. Томсона «Recent Researches in Electricity and Magnetism» и можетъ быть представлено приблизительно въ слѣдующемъ видѣ:

Моментъ зависитъ отъ совмѣстнаго существованія и образованія магнитнаго и электрическаго полей. Каждое поле измѣняется обратно пропорціонально квадрату разстоянія отъ движущагося заряда, а ихъ векторъ-продуктъ перпендикуляренъ къ радіусу-вектору въ нѣкоторой точкѣ и пропорціоналенъ при обыкновенныхъ скоростяхъ синусу угла между радіусомъ-векторомъ и направленіемъ-движеніемъ, а по величинѣ обратно пропорціоналенъ четвертой степени разстоянія. Все это можетъ быть осуществлено въ обыкновенномъ смыслѣ очень легко.

Такъ, возьмемъ движущійся электронъ и разсмотримъ распредѣленіе его момента въ окружающемъ его пространствѣ. Отъ поверхности его на разстояніи, въ 100 разъ большемъ его діаметра, содержится 99% его момента, такъ какъ мы должны проинтегрировать выраженіе:

$$\int_a^r \frac{4\pi^2 dr}{r^4}$$

Такимъ образомъ въ предѣлахъ атома, діаметръ котораго во сто тысячъ разъ больше діаметра электрона, его момента практически вовсе не содержится.

Даже въ одномъ изъ сравнительно плотныхъ атомовъ, въ атомѣ платины или ртути, покрываніе момента одного электрона моментомъ другого крайне мало, такъ какъ въ среднемъ разстояніе между электронами въ нѣсколько тысячъ разъ больше величины каждаго составляющаго электрона.

Слѣдовательно, утвержденія, что электрическій токъ представляетъ собою переносъ электроновъ, и что энергія тока переходитъ съ мѣста на мѣсто въ окружающемъ движущееся электричество пространствѣ, не находятся въ непослѣдовательности между собою. Не непослѣдовательны и положенія, что масса тѣла находится въ ихъ атомахъ, и что инерція или моментъ есть свойство, обязанное самоиндукціонному вліянію окружающаго электрическое ядрышко электромагнитнаго поля.

То же и съ путемъ, по которому распространяется токъ. Скорость движенія впередъ электроновъ черезъ твердое тѣло должна быть значительна, но она далеко ниже скорости, съ которою распространяются вдоль проволоки телеграфные сигналы. Они должны передвигаться посредствомъ побочнаго дѣйствія, передаваемаго черезъ эфиръ со скоростью свѣта, свойственной окружающему изолятору, посредствомъ чего-то вродѣ зубчатыхъ колесъ. Электрическій токъ есть нѣчто болѣе матеріальное; онъ имѣетъ болѣе матеріальный видъ, чѣмъ это думали еще недавно. Но все, что казалось какимъ-то движеніемъ впередъ и диффузіей движущей силы снаружи внутрь черезъ рядъ своего рода слоевъ проволоки; все, что трактовалось, какъ пути, по которымъ энергія распространяется вдоль проволоки и приходитъ отъ одной ея точки къ другой; все, трактовавшееся аналогично теплотѣ,—все это остается справедливымъ.

Число іоновъ въ проводникахъ

Огромное число электроновъ, необходимыхъ для образованія массы куска платины или количества матеріи величиною съ землю, можетъ быть вычислено безъ труда; также легко можно представить себѣ, что для образованія обычныхъ силъ токовъ, могущихъ безъ затрудненія проходить черезъ жидкость, необходимо громадное число электроновъ.

Подходящее предѣльное число электроновъ для газа давно уже было найдено, а соотвѣтственно этому проводимость іонизированнаго газа падаетъ, коль скоро мы заставляемъ его нести токъ, нѣсколько большій нѣкотораго опредѣленнаго, называемаго токомъ насыщенія (см. изслѣдованія Тоунзенда и другихъ). Но мнѣ неизвѣстно въ настоящее время какое бы то ни было указаніе на такой предѣлъ для твердыхъ тѣлъ и жидкостей. Скорость перехода электроновъ въ твердыхъ тѣлахъ неизвѣстна, хотя о ней и дѣлались остроумныя предположенія, и представляли себѣ ее очень большою; разсмотрѣнія центробѣжной силы дали скорость каждаго электрона равною $e/\sqrt{Kmr}$ или около 10^8 сантиметровъ въ секунду; взгляды, основывающіеся на

теоремѣ Максвелля объ одинаковомъ распредѣленіи энергіи по частицамъ газовъ, предполагаютъ для средней скорости электроновъ въ твердомъ тѣлѣ, гдѣ они свободны, при обыкновенной температурѣ величину въ 10^7, т. е. во сто километровъ или въ шестьдесятъ миль въ секунду, хотя эта величина отнюдь не представляетъ собою скорости дѣйствительнаго движенія впередъ, пока каждая частица подвержена постояннымъ измѣненіямъ направленія. Что же касается жидкостей, то въ нихъ электроны связаны съ атомами, и скорость движенія впередъ съ достаточной точностью опредѣлена какъ теоретически, такъ и экспериментально. Она сравнима съ дюймомъ въ часъ для обычныхъ градіентовъ потенціала.

Весь токъ есть *neu*, и, давая при столь низкой скорости единицу *c. g. s.* тока, мы можемъ узнать, какъ много должно быть іоновъ.

Дѣлая $e = 10^{-20}$ электромагнитныхъ единицъ,
$u = 10^{-3}$ сантиметровъ въ секунду,

находимъ, что нужное для сообщенія *c. g. s.*-единицѣ 10 амперовъ число іоновъ $n = 10^{23}$. Но, въ сущности говоря, это число вовсе не такъ ужъ велико. Оно представляетъ собою приблизительно только число атомовъ въ одномъ кубическомъ сантиметрѣ жидкости, а при примѣненіи большаго градіента потенціала, іоны можно заставить двигаться скорѣе. Суживая постепенно сѣченіе жидкаго проводника при данномъ градіентѣ потенціала, можно, повидимому, дойти до плотности насыщающаго тока въ жидкостяхъ. Однако при такихъ условіяхъ невозможно въ точности наблюдать экспериментально законъ Ома.

Заключеніе

Затронутый вопросъ далеко еще не исчерпанъ, но мнѣ нельзя не изложить его основъ. Главною его частью является объясненіе матеріи съ помощью выраженій, принятыхъ въ ученіи объ электричествѣ; существуетъ взглядъ, по которому элек-

тричество образуетъ нѣкоторую основную субстанцію, и по которому то, на что мы обыкновенно смотримъ, какъ на недѣлимый матеріальный атомъ, состоитъ изъ этой именно субстанціи; да и всѣ вообще атомы—атомы всевозможныхъ веществъ—состоятъ изъ одного и того же. Въ концѣ концовъ мы приходимъ къ тому, о чемъ постоянно заботились ученые, а именно къ *единству матеріи*. Другимъ удивительнымъ и плодотворнымъ результатомъ является то обстоятельство, что пространства внутри атома чрезвычайно громадны по сравненію съ величинами самихъ, образующихъ его, электрическихъ ядрышекъ. Другими словами, атомъ представляетъ своего рода сложную астрономическую систему, подобную кольцу Сатурна или скорѣе, быть можетъ, туманностямъ, состоящимъ изъ огромнаго числа одинаковыхъ тѣлецъ, обладающихъ инерціей и подверженныхъ взаимнымъ притягательнымъ и отталкивательнымъ громадной величины электрическимъ силамъ взамѣнъ тяготѣнія. Радіація туманности можетъ быть обусловлена импульсами и столкновеніями, нѣсколько похожими на Х-радіацію отъ иныхъ атомовъ.

Несоразмѣрность между величинами атома и электрона далеко оставляетъ за собою несоразмѣрность солнца съ землею. Если электронъ изобразить пятнышкомъ въ одну сотую дюйма діаметромъ, вродѣ, напримѣръ, одной изъ стоящихъ на этой страницѣ точекъ, то пространство, занятое въ атомѣ нѣсколькими стами подобныхъ составныхъ частей, должно сравнить съ кубомъ, каждая сторона котораго имѣетъ по сту футовъ; иначе говоря, атомъ по такому масштабу надо представить въ видѣ церкви въ 160 футовъ длиною, 80 футовъ шириною и 40 футовъ высотой, въ которой поэтому наши точки положительно затеряются. И однако, по электрической теоріи матеріи, всѣ онѣ существуютъ въ атомѣ; онѣ занимаютъ свой объемъ, какъ спутники планетъ; обладая энергіей и полныя силы, хотя и не отличаясь большой величиною, онѣ образуютъ въ своихъ взаимныхъ соотношеніяхъ то, что мы называемъ матеріальнымъ атомомъ. Онѣ даютъ ему инерцію и могутъ заставить его столкнуться съ другими атомами, которые подойдутъ на короткое къ нему разстояніе. Излишекъ или недостатокъ одной либо нѣсколькихъ такихъ составныхъ частей обусловливаютъ

собою химическія свойства и сталкиванія атомовъ другъ съ другомъ съ надлежащей въ томъ или иномъ случаѣ силой.

Нисколько неудивительно, что движеніе по эфиру такого, состоящаго изъ разбросанныхъ точекъ, атома не встрѣчаетъ никакого сопротивленія. Онѣ не связаны между собою, а при неизмѣнной скорости не связаны онѣ и съ эфиромъ; если же онѣ и производятъ въ немъ какія либо пертурбаціи, то только самаго простѣйшаго вида, которыхъ нельзя обнаружить никакими оптическими средствами. Всѣ извѣстныя линіи механической силы идутъ отъ атома къ атому, не заканчиваясь никогда въ эфирѣ, кромѣ развѣ движущагося впередъ волнового фронта. На послѣднемъ можетъ быть реакція механическаго давленія радіаціи, другая составляющая котораго находится въ источникѣ. Это интересный случай, но, въ сущности говоря, не статическій, и притомъ такой, который выходитъ изъ предѣловъ занимающаго насъ вопроса.

Что касается природы электрона, разсматриваемаго въ видѣ нѣкотораго эфирнаго явленія, то еще слишкомъ рано выражать о томъ какое либо мнѣніе. Въ настоящее время неясно, почему положительные электроны пристаютъ къ группѣ такъ крѣпко, тогда какъ электронъ отрицательный, напротивъ того, легко уходитъ изъ нея и движется свободно. Само собой разумѣется, что тутъ не играетъ роли сила тяготѣнія. Когда электронная теорія достигнетъ въ своемъ развитіи второго, и даже высшаго, порядка малыхъ количествъ, тогда, быть можетъ, и свойства тяготѣнія сведутся на нѣкоторую часть этой теоріи. Въ настоящее время это эмпирическій фактъ, который мы наблюдаемъ, не понимая его: онъ былъ нашимъ достояніемъ не только въ дни Ньютона, но и столѣтіями раньше.

До сихъ поръ вниманіе обращали главнымъ образомъ на дѣятельные, свободно движущіеся отрицательные ингредіенты,— болѣе, такъ сказать, неповоротливые положительные заряды представляли меньшій интересъ, — но картина всего происходящаго съ электронами не можетъ быть полной и вполнѣ понятной, если не знать природы и свойствъ положительныхъ составныхъ частей.

Положительный электронъ, насколько мнѣ извѣстно, однако не наблюдался независимо. Можно думать, что онъ не можетъ

существовать въ свободномъ состояніи, но что въ дѣйствительности онъ представляетъ собою остатокъ матеріальнаго атома, отъ котораго отнята отрицательная единица заряда. Вмѣсто того, чтобы просто говорить, что «электричество» отталкиваетъ «электричество», а «матерія» отталкиваетъ «матерію», надо сказать, что электричество и матерія образуютъ вмѣстѣ нѣкоторое нейтральное вещество, дающее атомъ въ томъ видѣ, въ какомъ мы его знаемъ. Такое положеніе является чрезвычайно страннымъ и удивительнымъ возвращеніемъ ко взглядамъ, выраженнымъ великимъ геніемъ Веніамина Франклина. По нѣкоторой гипотезѣ, эти его взгляды чрезвычайно интересны и указываютъ еще разъ на пророческій проблескъ, о которомъ мы говорили выше по поводу открытій и ихъ авторовъ (см. приложеніе *H*). Въ настоящее время мы несомнѣнно стоимъ къ Веніамину Франклину ближе, чѣмъ стояли по отношенію къ нему люди, жившіе въ періодъ между его временемъ и нашимъ.

Взглядъ, по которому атомъ состоитъ изъ одинаковаго числа находящихся въ немъ и обращающихся по орбитамъ положительныхъ и отрицательныхъ электроновъ, и къ которому пока склоняюсь и я самъ, — взглядъ этотъ не Франклина. Это даже не что иное, какъ предположеніе. Чтобы развить его, надо еще много поработать для выясненія природы и свойствъ положительнаго заряда; что же касается положительнаго электрона, то, разъ онъ существуетъ, и его нужно, такъ сказать, вытащить на свѣтъ божій.

Главнымъ образомъ надо объяснить внутренній эфирный смыслъ какъ положительныхъ, такъ и отрицательныхъ зарядовъ, принимая ли во вниманіе внутреннія силы натяженія въ гиростатически-устойчивомъ эфирѣ Кельвина, чѣмъ занимается въ настоящее время Лярморъ, или же по какому либо другому плану, до сихъ поръ еще не высказывавшемуся. Это и будетъ переходомъ къ математической изслѣдовательной работѣ высшаго порядка.

ОГЛАВЛЕНІЕ

стр.

Отъ переводчика 3

Введеніе 5

ЧАСТЬ I 7

Заряженная сфера 8

Электрическая инерція 12

Приложенія къ части I:

A. Вычисленіе инерціи электрическаго заряда . 18

B. Электрическое поле, создаваемое движущимся магнитомъ. 21

ЧАСТЬ II:

Открытіе атома электричества 24

Проводимость газовъ. 27

Катодные лучи 29

Природа катодныхъ лучей 33

Увеличеніе инерціи заряда при его движеніи . . 39

Приложенія къ части II:

C. Электричество и тяготѣніе 43

D. Измѣренія отношенія e/m 45

ЧАСТЬ III:

Опредѣленіе скорости и электрохимическаго эквивалента катодныхъ лучей. 47

Дальнѣйшія измѣренія скорости катодныхъ лучей и отношенія m/e съ помощью электростатическаго отклоненія 52

стр.

Опредѣленіе электрохимическаго эквивалента въ случаѣ электрической утечки въ ультрафіолетовомъ свѣтѣ 54

Приложеніе къ части III:

E. Электрическое насыщеніе и пр. 60

ЧАСТЬ IV:

Электронная теорія проводимости и радіаціи . . 62
Проводимость 63
Радіація 65
Электронная теорія намагниченія свѣта 70

Приложенія къ части IV:

F. Величина орбиты производящаго радіацію электрона 73
G. Сила радіаціи обращающагося электрона . . . 74
H. Пророческая номенклатура Фарадея 76

ЧАСТЬ V:

Опредѣленіе массы электрона 79
Айткенъ и ядрышки, образующія облака 81
Дж. Дж. Томсонъ и электрическія ядрышки . . . 83
Вильсонъ и измѣреніе сгущенія водяныхъ паровъ. 85
Проф. Стоксъ и падающія звѣзды 87
Экспериментальный разсчетъ Дж. Дж. Томсона . 88
Общіе результаты 91

ЧАСТЬ VI. Электрическая теорія матеріи.

Опредѣленіе величины электроновъ 92
Защита электрическаго воззрѣнія на матерію . . 99
Химическія и молекулярныя силы 101
Молекулярныя силы. Сцѣпленіе 103

Приложенія къ части VI:

K. Замѣтка о томъ, что происходитъ съ зарядомъ, движущимся почти со скоростью свѣта. . . . 105
L. Измѣненія, обусловливаемыя быстрымъ движеніемъ въ эфирѣ 109

стр.

ЧАСТЬ VII. Другія слѣдствія электронной теоріи.

Радіоактивность 110
Солнечная корона, кометные хвосты, магнитные вихри и сѣверныя сіянія 113
Законность старыхъ взглядовъ 114
Число іоновъ въ проводникахъ 117

Заключеніе 118

Изданія О. Н. Поповой

Разсказы о разныхъ странахъ и народахъ

Австралія и ея обитатели. Очеркъ **Э. К. Пименовой**. Съ 16-ю рис. и картою.—30 коп.

Уч. Ком. Мин. Нар. Пр. **допущена** въ учен., средн. возр., библ. мужск. и женск. средн. уч. завед. и въ безплатн. народн. читальни и библіотеки.

Великая пустыня. Описаніе Сахары. Составила **С. Круковская**. Съ 22 рис. Изд. 2-е.—40 к.

Учен. Ком. Мин. Нар. Пр. **одобрена** для ученич. библ. низш. и средн. учебн. заведеній, для безпл. читал. и народныхъ чтеній.

Герои Южной Африки. Республики Трансвааль и Оранжевая. Исторія, страна и нравы. Съ 16 рис. и картой. Очеркъ **Д. Котляръ**.—60 к.

Учен. Ком. Мин. Нар. Пр. **допущена** въ ученич. библіотеки низш. училищъ и въ безпл. народн. читальни и библотеки.

Герой полярной ночи и вѣчныхъ льдовъ—Фритіофъ Нансенъ. Очеркъ путешествія. Составила **О. Н. Попова**. Съ 38 рис. Изд. 3-е.—50 коп.

Учен. Ком. М. Н. Пр. **одобрена** для учен. библ. низш. училищъ и низш. классовъ ср. уч. зав. и для безпл. читаленъ и нар. чтеній.

Заря новой жизни. Сцена изъ войны за освобожденіе негровъ въ Сѣв. Америкѣ. По Герштеккеру составила **О. Н. Попова**.—10 к.

Индія и Цейлонъ. Очеркъ проф. **А. Н. Краснова**. Съ 19 рис.—40 к.

Учен. Ком. Мин. Нар. Пр. **допущена** въ учен. библ. низшихъ училищъ и въ безпл. народн. читальни и библіотеки.

Крыша міра. Описаніе центральной Азіи По Пржевальскому, Гедину и Саваджу составила **Д. Котляръ**. Съ 18 рис. и картой.—80 к.

Учен. Ком. Мин. Нар. Пр. **допущена** въ учен., мл. и ср. возр., библ. всѣхъ ср. уч. зав., мужск. и женск., а равно въ библ. гор. учил. и въ безпл. нар. читальни.

Матросы корабля „Надежда". Разсказъ **В. Сѣрошевскаго**. Съ 10 рисунками. Изд. 2-е.—35 к.

Учен. Ком. М. Н. Пр. **допущена** въ учен. библ. низш. училищъ и въ учен., мл. возр., библ. средн. учебн. заведеній.

На крайнемъ сѣверѣ (Жизнь эскимосовъ). **Фритьофа Нансена.** Сокращ. пер. О. Н. Поповой. Съ 17 рис.—30 к.

На краю свѣта (Годъ въ Новой Зеландіи). **Г. де-Сегюра**. Пер. съ франц. Н. Волконской. Подъ ред. и со вступ. статьей **Д. А. Коропчевскаго** „Новая Зеландія и маорисы до прибытія европейцевъ". Съ 27-ю рис. и картою.—60 к.

Учен. Ком. М. Н. Пр. **допущена** въ учен., ср. и ст. возр., библ. ср. уч. зав. и въ безпл. нар. библ. и читальни.

Огненная Земля (по Отто Норденшельду). **Шарля Рабо**. Переводъ съ франц. Н. Н. Южаковой. Подъ ред. и со вступ. статьей **Д. А. Коропчевскаго** „Человѣкъ на крайнемъ югѣ". Съ 18-ю рис. и картою.—40 к.

Срединное царство. Очеркъ исторіи и жизни Китая. Составила **Д. И. Котляръ**. Съ 21 рис.—80 коп.

Книга Котляръ написана очень просто и доступна для широкихъ круговъ читателей. Она касается самыхъ разнообразныхъ сторонъ общественной и частной жизни Китая, его природы, исторіи и современнаго положенія.

Изданія О. Н. ПОПОВОЙ

Разсказы о разныхъ странахъ и народахъ

Продолженіе

Страна будущаго (Какъ живутъ американцы). **В. Поленца**. Сокр. пер. О. Н. Поповой. Съ 12 рис.—30 к.

Страна восходящаго солнца. Разсказы о японцахъ. **Д. И. Шрейдера**. Изд. 3-е. Съ 20 рисунк. и картой.—25 к.

Учен. Ком. М. Н. Пр. **одобрена** для учен., средн. возр., библ. ср. учебн. завед., для ученич. библ. город. учил. и для безпл. нар. библ. и читаленъ.

Страна утренняго спокойствія (Корея и ея обитатели). **П. Ю. Шмидта**. Съ 22 рис. и картою.—40 коп.

Уч. Ком. Мин. Нар. Пр. **допущена** въ учен., средн. возр., библ. мужск. и женск. средн. уч. завед. и въ безплатн. народн. читальни и библіотеки.

Якутскіе разсказы **В. Сѣрошевскаго**. 19 рис.—40 к.

Книги для юношества

Алтаевъ, А. *Свѣточи правды*. Очерки и картины изъ жизни великихъ людей. Съ 24 рис. Изд. 2-е.—1 р. 50 к.

Учен. Ком. М. Н. Пр. **одобрена** для ученич. библ. средн. уч. зав. и городск. учил. и **допущена** въ безплатн. читальни.

Асбьернсонъ. *Норвежскія сказки*. Пер. А. и П. Ганзенъ. Съ 74 рисунками.—1 р. 25 к.

Учен. Ком. М. Н. Пр. **допущена** въ учен. библ. низш. учебн. завед. и въ безпл. народн. библ.-читальни.

Ауэрбахъ, Б. *„Босоножка"*. Изъ „Шварцвальдскихъ разсказовъ". Пер. съ нѣмецкаго А. С. Фридеманъ. (Библіотека „Другъ").—40 к.

Учен. Комит. Мин. Нар. Пр. **допущена** въ безпл. народн. библ.

Бичеръ-Стоу. *Хижина дяди Тома*. Полный переводъ съ англійскаго З. Н. Журавской. 65 рисунковъ. Изд. 2-е.—1 руб. 20 к.

Учен. Ком. М. Н. Пр. **одобрена** для ученич. библ. средн. учебн. завед. и **допущена** въ ученич. и учит. библ. низш. учил. и въ безплатн. читальни.

Гольмсъ, Ф. М. *Великіе люди и ихъ великія произведенія*. Разсказы о сооруженіяхъ великихъ инженеровъ. Изд. 2-е, со множ. рис. Пер. съ англ. М. А. Жебелевой.—Ц. 1 р. 20 к.

Ученымъ Комитетомъ М-ва Н. Пр. **допущена** въ учительск. библ. низш. учебн. заведеній и въ безпл. народн. библіотеки и читальни.

Бр. Гриммъ. *Сказки и легенды*. Пер. съ нѣм. А. С. Фридеманъ. Со множ. рис. Въ 2 томахъ.—2 р. 40 к.

Учен. Ком. М. Н. Пр. **допущена** въ учен., младш. и средн. возр., библ. ср. уч. зав. и въ безпл. нар. читальни и библотеки.

Бр. Гриммъ. *Избранныя сказки*. Съ рис. Пер. съ нѣм. А. С. Фридеманъ.—80 к.

Учен. Ком. М. Н. Пр. **допущена** въ учен., мл. возр., библ. ср. уч. зав. и въ безпл. нар. читальни и библіотеки.

Диккенсъ, Ч. *Блестящая будущность*. Сокращ. перев. съ англ. А. Н. Энгельгардтъ. Съ 10 оригинальн. рисунками.—1 р.

Изданія О. Н. ПОПОВОЙ

Книги для юношества

Продолженіе

Доброе сѣмя. Сборникъ стихотвореній.—25 к.

Додз, Альфонсъ. *Прекрасная Нивернеза.* Пер. съ франц. С. Круковской. Съ 46 рисунк. Изд. 2-е.—30 к.

Учен. Ком. М. Н. Пр. **допущена** въ учен. библ. низш. и средн. учебн. завед. и въ безпл. народн. библ.-читальни.

Думы и пѣсни. Сборникъ стихотвореній для юношества. Часть I.—15 к. Часть II.—20 к.

Д'Эрвильи, Э. *Приключенія доисторическаго мальчика.* Пер. съ франц. А. Мезіеръ. Съ многр. рис. Изд. 2-е.—80 к.

Учен. Ком. М. Н. Пр. **допущена** въ ученич., младшаго возр., библ. гимназій и реальн. училищъ.

Киплингъ, Р. *Разсказы-сказки.* Съ рисунками автора. Пер. съ англ. О. Н. Поповой.—1 руб.

Киплингъ, Р. *Свѣтъ погасъ.* Пер. съ англ. Т. Львовой. (Библіотека Другъ").—60 к.

Мало. Гекторъ. *Безъ семьи.* Перев. съ франц. М. Круковского. Съ 27 рисунками.—50 к., въ папкѣ 60 к.

Мезіеръ, А. В. *На поворотѣ.* Алексѣевская и Петровская Русь. Историч. хрестоматія. Съ 55 рис.—2 р. 50 к.

Учен. Ком. Мин. Нар. Пр. **допущена** въ учен., средн. и старш. возр., библіотеки средн. уч. зав.

Подснѣжникъ. Сборникъ для дѣтей. Разсказы Алтаева, Сѣрошевскаго, Оржешко, Уйда, Поповой и др. Изд. 2-е. Со множ. рис.—2 р.

Учен. Ком. М. Н. Пр. **допущена** въ безпл. народн. библ.-читальни.

Сенкевичъ, Г. *Камо грядеши?* Сокращ. перев. О. Н. Поповой. Съ 12 рис. Яна Стыки.—60 к.

Учен. Ком. М. Нар. Пр. **допущена** въ учен., средн. и старш. возр., библ. ср. уч. зав. и въ безпл. нар. читальни и библ.

Сто разсказовъ изъ жизни животныхъ. Книга для дѣтей младш. возр. Изд. 4-е, печ. безъ пер. съ 1-го изд., Уч. Ком. М. Н. Пр. **допущеннаго** въ учен., младш. возр., библ. ср. уч. зав. и учен. библ. низш. учил. Пер. съ англ. З. Журавской. 53 рис.—50 к., въ папкѣ 60 к.

Сюэль. *Черный красавецъ.* Автобіографія лошади. Пов. для юношества. Перев. съ англ. С. Гулишамбаровой. Съ 13 рис.—1 р.

Учен. Ком. Мин. Народн. Просв. **допущена** въ учен. библ. ср. уч. зав. **Одобрена** для учен. библ. ср. уч. зав. вѣд. Учр. Имп. Маріи. **Рекомендована** для чтенія кадетъ средн. и старш. класс. кад. корпусовъ.

Тальботъ. *Старшины Вильбайской школы.* Изъ жизни англійскихъ школьниковъ. Пер. съ англійск. М. Шишмаревой. Съ 23 рисунк.—1 р.

Учен. Ком. Мин. Нар. Пр. **одобрена** для учен., мл. и ср. возр., библ. ср. уч. зав. и **допущена** въ безпл. нар. библ. и читальни.

Уордъ, Гемфри. *Давидъ Гривъ.* Разсказъ о томъ, какъ человѣкъ нашелъ дорогу въ жизни. Переводъ (въ сокращеніи) съ англійск. А. Каррикъ.—50 к.

Утренняя заря. Сборникъ стихотвореній.—20 к.

Новыя изданія О. Н. ПОПОВОЙ

Анучинъ В. И. *По горамъ и лѣсамъ.* Повѣсть изъ жизни маленькихъ искателей приключеній въ Сибири. Съ рис. Ц. 60 к.

Арнольдъ, Э. *Свѣтило Азіи.* Сокр. переводъ. Ц. 15 к.

Беконъ, Л. *Женщина въ Японіи.* Пер. съ 10-го американскаго изданія подъ ред. и съ „Очеркомъ современнаго состоянія образованія въ Японіи" *Н. П. А.* Ц. 1 р. 30 к.

Джеромъ К. Джеромъ. *За чашкой чая.* Пер. съ англ. М. Н. Даниловской. Съ 16 рис. Ц. 60 коп.

Зутнеръ, Берта. *Въ цѣпяхъ.* Романъ. Пер. съ нѣм. Э. К. Пименовой. Ц. 80 к.

Минцловъ, С. Р. *Въ грозу.* Историческая повѣсть изъ эпохи Петра Великаго. Со многр. рис. Ц. 1 рубль.

Пенькова, М. *Въ гору.* Повѣсть. Съ 26 рис. Ж. Рейнъ. Ц. 50 коп.

Погодинъ, А. Л., проф. *Боги и герои Эллады.* Съ рис. Ц. 1 рубль.

Розеггеръ, П. *Когда я былъ еще пастушкомъ...* Перев. съ нѣм Ц. 60 коп.

Сервиссъ, Г. П. *Астрономія съ биноклемъ.* Популярное введеніе къ изученію звѣзднаго неба при помощи бинокля. Пер. съ англ. М. Л Кисловского. Со множ. карт. и рисунк. Ц. 1 рубль.

Стокманъ-Диксонъ, М. *Какъ былъ открытъ Новый Свѣтъ.* Пер. съ англ. Д. А. Коропчевскаго. Съ 57 рис. и 9 картами. Ц. 60 к.

Библіотека „ДРУГЪ".

Въ составъ **Библіотеки „Другъ"** входятъ популярнѣйшія произведенія современной литературы преимущественно иностранной.

ВЪ НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ВЫШЛО ВОСЕМЬ ТОМОВЪ!

Библіотеки „Другъ".

Ауэрбахъ, Б. *„Босоножка"* (Изъ „Шварцвальдскихъ разсказовъ") Пер. съ нѣм. А. С. Фридеманъ. Цѣна 40 коп.

Учен. Ком. Мин. Нар. Просв. **допущена** въ народныя безплатныя читальни и библіотеки.

Викторъ Гюго. *„Девяносто третій годъ".* Романъ. Пер. съ франц С. Круковской. Цѣна 1 рубль.

Феликсъ Данъ. *„Борьба за Римъ".* Истор. романъ. Пер. съ нѣм Д. И. Котляръ. Цѣна 1 р. 30 к.

Р. Киплингъ. *„Свѣтъ погасъ".* Романъ. Пер. съ англ. Т. Львовой Цѣна 60 коп.

Іонасъ Ли. *„Дочери командора".* Романъ. Пер. съ норвежск. М. П. Благовѣщенской. Цѣна 60 коп.

Орисонъ Свет-Марденъ. *„Пробивайтесь впередъ!".* Пер. съ англ. М. А. Шишмаревой. Цѣна 1 руб. 20 коп.

Уайзменъ. *„Фабіола",* или *„Церковь въ катакомбахъ".* Пер. съ англ. А. Каррикъ. Съ рис. Цѣна 80 коп.

Г. Эберсъ. *„Человѣкъ во семъ".* Романъ. Пер. съ нѣм. Д. И. Котлярь. Цѣна 60 коп.

Уч. Ком. М. Н. Пр. **допущена** въ нар. безпл. чит. и библ.

Дозволено ценз. Спб., 16 апрѣля 1904 г.

Тип. Арт. Печ. Д., Невс., 61.

Одобрена для фунд. библ. ср. уч. зав. вѣд. Учр. Имп. Маріи и **допущена** въ учен., старш. возр., библ. средн. уч. зав. Мин. Нар. Пр.

№ 7. **Ю. Мильталеръ.** *Что такое красота?* Введеніе въ эстетику. Пер. съ нѣм. З. А. Венгеровой. Ц. 40 к.

№ 8. **Рисъ-Дэвидсъ.** *Буддизмъ.* Пер. съ англ. О. П. Семеновой, подъ ред. пр. С. Ф. Ольденбурга. Ц. 40 к.

№ 9 и 10. **Гумплowичъ, Людвигъ.** *Основы соціологіи.* Пер. подъ ред. прив.-доц. В. М. Гессена. Ц. 1 р. 30 к.

СЕРІЯ ТРЕТЬЯ

№ 1. **В. Клей.** *Чахотка, какъ соціальное явленіе.* Пер. съ нѣм. съ доп. д-ра мед. А. Яроцкаго. Ц. 50 к.

Допущена въ учит. библ. низш. училищъ Мин. Нар. Пр. и въ безпл. нар. читальни и библіотеки, и **рекомендована** для фунд. библ. и ротныхъ библ. старш. классовъ кадетскихъ корпусовъ.

№ 2. **Зомбартъ, Вернеръ.** *Очерки по исторіи промышленнаго развитія Германіи.* I. Германія наканунѣ экономическаго переворота. Пер. съ рукоп. Ф. Капелюша. Ц. 60 к.

№ 3 и 4. **Дж. Гобсонъ.** *Проблемы бѣдности и безработицы.* Пер. съ англ. подъ ред. Л. Зака и С. Франка. Съ прилож. статьи П. Струве о безработицѣ. Ц. 1 р. 50 к.

№ 5. **Дж. Т. Лэддъ.** *Очеркъ элементарной психологіи.* Пер. съ англ. подъ ред. Б. Кистяковскаго. Ц. 80 к.

Одобрена для учен.. старш. возраста, библ. ср. уч. зав. Мин. Нар. Пр. и **допущена** въ фунд. библ. ср. учеб. завед. вѣд. Учр. Имп. Маріи.

№ 6. **С. Кржвицкій.** *Физическая антропологія.* Пер. съ польск., при содѣйствіи автора, С. Д. Романько-Романовскаго. Съ 70 рис. Ц. 80 к.

№ 7. **Арчибальдъ.** *Атмосфера.* 40 рис. Переводъ подъ ред. В. А. Герда. Ц. 80 к.

Рекомендована для чтенія кадетъ старш. классовъ кад. корпусовъ.

№ 8 и 9. **Тихвинскій.** *Методъ современной химіи.* Съ 50 черт. Ц. 2 р.

Рекомендована для фунд. библ. кадетск. корпусовъ и для библ. военныхъ училищъ.

№ 10. **Ф. Ле-Дантекъ.** *Ламаркизмъ и дарвинизмъ.* Пер. съ франц. Г. Котляра, подъ ред. проф. Н. Яковлева. Ц. 75 к.

СЕРІЯ ЧЕТВЕРТАЯ

№ 1 и 2. **О. Кюльпе.** *Введеніе въ философію.* Пер. съ нѣм. подъ ред. П. Струве, съ библ. дополн. Я. Колубовскаго. Ц. 1 р. 25 к.

Одобрена для фунд. библ. средн. уч. зав. Мин. Нар. Пр. и **рекомендована** для фунд. библ. средн. уч. зав. и въ библіотеки слушательницъ педагог. курсовъ при женск. гимн. вѣд. Учр. Имп. Маріи.

№ 3 и 4. **А. Лихтенберже.** *Философія Ницше.* Пер. съ франц. подъ ред. и со вступ. статьей М. Невѣдомскаго. Съ портр. Ницше. Ц. 1 р. 80 к.

№ 5 и 6. **Вернеръ Зомбартъ**. *Очерки промышленнаго развитія Германіи.* II. Проникновеніе промышленнаго капитализма въ область докапиталистическаго ремесла. Ц. 1 р.

№ 7 и 8. **Т. Липпсъ**. *Основы логики.* Пер. съ нѣм. Н. О. Лосскаго. Ц. 1 р.

Допущена въ учен., ст. возр. библ. средн. уч. зав. М. Н. Пр.

№ 9 и 10. **Фино**. *Философія долговѣчности.* Пер. съ франц. д-ра О. А. Литинскаго. Ц. 60 к.

СЕРІЯ ПЯТАЯ

№ 1. **Р. Лотаръ**. *Ибсенъ.* Монографія. Пер. съ нѣм. О. А. Волькенштейнъ. Съ портр. и автографомъ Ибсена. Ц. 60 к.

№ 2. Проф. **А. Л. Погодинъ**. *Религія Зороастра.* — Проф. **Джаксонъ**. *Жизнь Зороастра.* Пер. съ англ. проф. А. Л. Погодина. Ц. 60 к.

№ 3. **Г.-Ф. Липпсъ**. *Основы психофизики.* Пер. съ нѣм. Г. А. Котляра. Ц. 40 к.

№ 4. **Ф.-В. Хеттонъ**. *Ученія объ эволюціи.* Пер. съ англ. М. Александровича. Ц. 40 к.

№ 5 и 6. **Т. Липпсъ**. *Основы этики.* Пер. съ нѣм. М. А. Лихарева, подъ ред. П. Б. Струве и Н. О. Лосскаго. (Печатается).

№ 7. **Н. Н. Яковлевъ**, проф. Горн. Инст. *Геологическая исторія животнаго царства.* (Введеніе въ изученіе палеонтологіи). Съ 33 рис. Ц. 40 к.

№ 8. **Лоджъ, Оливеръ**. *Электроны.* Пер. съ англ. В. М. Филиппова. Съ 17 рис. Ц 40 к.

№ 9 и 10. **Грецъ**. *Краткій курсъ электричества.* Пер. съ нѣм. В. М. Филиппова. Съ 161 рис. (Печатается).

Лица, выписывающія книжки „**Образовательной Библіотеки**“ отъ издательства полными серіями, **пользуются скидкой въ размѣрѣ 10%**.

Печатаются и вскорѣ выйдутъ въ свѣтъ

ГРЕЦЪ.

Краткій курсъ электричества.

Перев. съ нѣм. **В. М. Филиппова**,

Съ 161 рис.

КЮРИ-СКЛОДОВСКАЯ

Радій и радіоактивныя вещества.

Пер. съ франц. **В. М. Филиппова.**

Дозволено ценз. Спб. 17 Апрѣля 1904 г. Тип. Арт. Печ. Дѣла. Невс., 61.

2011111220